

UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER

FACULTÉ DE MÉDECINE

TRAVAIL DU CENTRE ANTICANCÉREUX DE MONTPELLIER

Directeur : Professeur PAUL LAMARQUE

N° 124

LA RADIOTHÉRAPIE DE CONTACT

THÈSE

Présentée et publiquement soutenue devant la Faculté de Médecine
de Montpellier

le 26 Juin 1943

par

CHARLES GROS

Licencié ès Sciences Physiques

Licencié ès Sciences Mathématiques

Diplômé d'Etudes supérieures

des Sciences Physiques et Mathématiques

Diplômé d'Hygiène

Diplômé d'Education physique et de Médecine scolaire

Chef de Laboratoire d'Electro-Radiologie

à la Faculté de Médecine

né le 12 août 1910 à Aigues-Mortes (Gard)

POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR EN MÉDECINE

EXAMINATEURS
DE LA THÈSE

MM. LAMARQUE, prof. *Président.*
AIMES, prof.
ROUX, agr.
P. RIMBAUD, agrégé.

Assesseurs

MONTPELLIER

IMPRIMERIE DE LA CHARITÉ
(Pierre-Rouge)

1943



LA RADIOTHÉRAPIE DE CONTACT

CHARLES GROS

I



Digitized by the Internet Archive
in 2026

UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER

FACULTÉ DE MÉDECINE

TRAVAIL DU CENTRE ANTICANCÉREUX DE MONTPELLIER

Directeur : Professeur PAUL LAMARQUE

N° 124

LA RADIOTHÉRAPIE DE CONTACT

THÈSE

Présentée et publiquement soutenue devant la Faculté de Médecine
de Montpellier

le 26 Juin 1943

par

CHARLES GROS

Licencié ès Sciences Physiques

Licencié ès Sciences Mathématiques

Diplômé d'Etudes supérieures

des Sciences Physiques et Mathématiques

Diplômé d'Hygiène

Diplômé d'Education physique et de Médecine scolaire

Chef de Laboratoire d'Electro-Radiologie

à la Faculté de Médecine

né le 12 août 1910 à Aigues-Mortes (Gard)

POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR EN MÉDECINE

EXAMINATEURS
DE LA THÈSE

MM. LAMARQUE, prof. *Président*.
AIMES, prof.
ROUX, agr.
P. RIMBAUD, agrégé.

} *Assesseurs*

MONTPELLIER

IMPRIMERIE DE LA CHARITE
(Pierre-Rouge)

1943

PERSONNEL DE LA FACULTÉ

PROFESSEURS

Chaires :

Anatomie	MM. J. DELMAS.
Histologie	TURCHINI.
Physiologie	HÉDON.
Chimie biologique médicale et toxicologie	CRISTOL.
Physique médicale	PECH.
Anatomie pathologique et médecine expérimentale	BAUMEL.
Microbiologie	LISBONNE.
Pathologie et thérapeutique générales	PAGÈS.
Thérapeutique et matière médicale	JANBON.
Hydrologie thérapeutique et climatologie	PUECH.
Hygiène	CARRIEU.
Médecine légale et médecine sociale	VIDAL.
Pathologie médicale et clinique propédeutique	BOULET.
Clinique médicale	L. RIMBAUD.
— — — — —	GIRAUD <i>doyen</i> .
Clinique chirurgicale	MASSABUAU, <i>assesseur</i> .
— — — — —	LAPEYRE.
Clinique obstétricale	P. DELMAS.
Clinique des maladies mentales et nerveuses	EUZIERE, <i>doyen hon.</i>
Clinique des malad. des enf. et hygiène du 1 ^{er} âge	BOUDET.
Clinique de dermato-syphiligraphie.....	MARGAROT.
Clinique chirurgicale infantile et orthopédie	ETIENNE.
Clinique des maladies des voies urinaires	JEANBRAU
Clinique gynécologique	N.
Clinique ophtalmologique	DÉJEAN.
Clinique d'oto-rhino-lar. et chir. maxillo-faciale	TERRACOL.

Charges de cours :

Anatomie.....	LAUX.
Histologie.....	GRANEL.
Radiologie.....	LAMARQUE.
Propédeutique chirurgicale.....	AIMES.

Professeurs honoraires

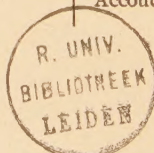
MM. TÉDENAT, BERTIN-SANS, CABANNES, GALAVIELLE,
VIRE, BOSC, VILLARD, GRYNFELT, RICHE

CHARGÉS D'ENSEIGNEMENTS COMPLÉMENTAIRES

Chimie.....	MONNIER <i>agrégé</i> .	Clinique de la tuber-	
Microbiologie	CARRÈRE <i>agrégé</i> .	culose.....	VIDAL, <i>professeur</i> .
Histoire nat. médic.	HARANT, <i>agrégé</i> .	Pathologie chirur. ...	MOURGUE-
Pharmacologie	HARANT, <i>agrégé</i> .	— — — — —	MOLINES, <i>agr.</i>
Pathologie médicale.	BOUCOMONT, <i>agr.</i>	— — — — —	TRUC, <i>agrégé</i> .
— — — — —	BERT, <i>agrégé</i> .	Chirurgie expérim....	GUIBAL, <i>agrégé</i> .
Propédeutique médi.	P. RIMBAUD, <i>agr.</i>	Médecine opératoire.	ROUX, <i>agrégé</i> .
Clinique interne.....	PUECH, <i>professeur</i> .	Accouchements	CADÉRAS
Clinique des malad.		de KERLEAU, <i>agr.</i>	
contagieuses	JANBON, <i>professeur</i> .	Stomatologie	HOUPERT <i>Dr. méd.</i>

AGRÉGÉS EN EXERCICE

Médecine	MM. P. RIMBAUD	Chirurgie.....	MM. MOURGUE-MOLINES
—	BOUCOMONT	—	—
—	BERT	—	GUIBAL,
—	LAFON, <i>chargé d'agr.</i>	—	ROUX
Chimie.....	MONNIER.	Urologie	TRUC
Bactériologie ...	CARRÈRE.	Accouchements....	CADÉRAS
Hist. nat. médic.	HARANT.		DE KERLEAU



IN MEMORIAM

A MA MÈRE ET A MON PÈRE

à qui je dédie ce travail.

A NOTRE MAÎTRE ET PRÉSIDENT DE THÈSE

MONSIEUR LE PROFESSEUR LAMARQUE

Docteur ès sciences

Directeur du Centre Anti-Cancéreux de Montpellier

Chargé de l'enseignement de la Radiologie à la Faculté de Médecine

*En reconnaissance de tout ce que
je lui dois.*

A MES MAÎTRES ET JUGES

MONSIEUR LE PROFESSEUR AIMES

Croix de guerre

MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ ROUX

Chevalier de la Légion d'honneur

MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ P. RIMBAUD

INTRODUCTION

La radiothérapie de contact est une technique particulière de la roëntgenthérapie. Elle a pour but principal de traiter par les rayons X les lésions superficielles et surtout les néoformations dans des conditions qui n'avaient été jamais utilisées jusqu'à ce jour. Son principe est basé sur l'emploi d'une très courte distance (environ 2 cm. du foyer à la lésion) associée à des radiations peu pénétrantes émises sous 50 kilovolts environ sans filtration appréciable.

Les résultats sont très encourageants et la mise en application est facile, indolore, économique et rapide.

Son créateur est le Professeur CHAOUL, de Berlin. C'est lui qui le premier, en 1935, en a réalisé les détails techniques et commencé les applications thérapeutiques. Pour rappeler le principe de cette technique, il lui a donné le nom de « Röntgentherapie mit Niederspannung nach-Bestrahlung » c'est-à-dire radiothérapie à courte distance et à bas voltage et, dans les pays de langue anglaise « Short distance, low voltage ray X therapy ». Beaucoup d'auteurs l'appellent aussi méthode de Chaoul.

Le radium, cette source naturelle de rayons X, guérit d'une façon presque miraculeuse certains cancers cutanés mais le radium n'est pas très abondant à la surface de la terre et les préparations radioactives sont très chères. Un malade garde pour lui seul quelques milligrammes de radium pendant plus d'une semaine. Aussi CHAOUL a cherché à remplacer les radiations émises spontanément par le radium par d'autres radia-

tions produites artificiellement par un tube à rayons X. Pour avoir les mêmes résultats heureux que le radium, cet auteur pense logiquement qu'en dehors de la longueur d'onde qui n'a rien de spécifique en radiothérapie, il faut se rapprocher des conditions de la curiethérapie. Et CHAOUL a cherché à obtenir avec les rayons de Röntgen la même irradiation qu'avec les rayons de Curie : *une forte dose totale, un étalement chronologique* de la dose et *une même distribution* dans les tissus, cette distribution particulière étant due au fait que les tubes radifères sont à même la lésion et que par conséquent l'intensité va rapidement en décroissant du centre à la périphérie selon la loi de la distance.

Le Professeur, de Berlin, a fait réaliser par la maison Siemens un appareil dont le foyer est très près de l'extrémité du tube et qui peut se mettre presque au contact des lésions comme pour le radium. Cet appareil a un fort débit. De plus le fractionnement de la dose permet de se rapprocher de l'action continue du radium.

Le succès de cette méthode, qui possède dans certains cas de nombreux avantages sur le radium, fut répandue rapidement en Angleterre par VOOBURN MORISON, FLOOD, BROMLEY...; en Amérique par REINHARD, PENDERGRASS ; en Belgique par VAN DER PLAATS. Ce dernier a modifié pour certaines lésions la méthode de CHAOUL ; il donne toute la dose non pas en plusieurs fois, mais en une seule fois ; c'est la méthode de cautérisation par rayons X ou méthode de VAN DER PLAATS.

En France nous ne connaissons aucun travail sur cette technique, ni aucun résultat. Le Centre Anti-Cancéreux de Montpellier est le premier qui a étudié et appliqué la radiothérapie de contact. L'appareil de la maison Philips a été reçu en octobre 1942 et notre Maître, le Professeur LAMARQUE, nous a fait l'honneur de nous donner un tel sujet comme travail inaugural. Mais s'il nous a montré le but à atteindre, il nous a donné aussi les moyens. Ses conseils de chaque jour et ceux de son collaborateur, le docteur BÉTOULIÈRES, sa bibliographie complète et à jour pour tout ce qui se rapporte aux

rayons X, ses publications antérieures et surtout son dernier livre, véritable encyclopédie physique et biologique de la roentgenthérapie, à laquelle nous avons fait de nombreux et larges emprunts, nous ont permis, après un an, de présenter un travail qui aidera à mieux faire connaître en France la radiothérapie de contact. Nous le remercions une fois de plus pour tout ce qu'il nous a appris de cette discipline si attrayante et si féconde qu'est la radiologie dans son sens le plus large.

Après avoir étudié dans le chapitre premier le principe de la radiothérapie de contact, nous avons fait dans le chapitre deuxième une étude physique assez développée de l'appareil, que nous utilisons, étude ingrate mais nécessaire, à laquelle nous avons apporté quelques remarques personnelles. Dans le troisième chapitre l'étude des appareils est esquissée.

Ensuite l'étude biologique de l'action des radiations a été envisagée au quatrième chapitre. Au cours de ce chapitre nous avons énoncé une loi, la loi de la longueur d'onde optimum, et une théorie, la théorie du double indéterminisme qui permet une interprétation mathématique de l'action biologique des rayons X.

Enfin, le chapitre IV est consacré à la thérapeutique : indications, conditions générales et particulières d'application, résultats, ainsi que quelques problèmes annexes.

CHAPITRE PREMIER

PRINCIPE DE LA RADIOTHÉRAPIE DE CONTACT

Dans toute thérapeutique, qu'elle utilise le bistouri, le médicament ou le rayonnement, le double but reste le même : d'une part atteindre avec efficacité les cellules anormales, d'autre part épargner le plus possible les tissus sains et éviter les réactions nuisibles à l'organisme.

Dans la radiothérapie, et surtout la radiothérapie antitumorale, deux conditions d'applications très différentes se présentent :

— tantôt la lésion à détruire est profonde, séparée de la peau par des tissus sains qu'il faut respecter ;

— tantôt la lésion est superficielle ou extériorisée et alors les radiations après avoir traversé le tissu pathologique doivent s'amortir très vite pour ne pas endommager inutilement les tissus situés au-dessous.

La roentgenthérapie, pour obtenir la solution générale de chacun de ces deux problèmes, modifiera d'une façon appropriée les deux facteurs les plus importants de toute radiothérapie :

1^o) la distance du foyer, qui émet les rayons X à la peau (représentée par $FP = \text{Focus-Peau}$) ;

- 2°) la plage des longueurs d'onde utilisée, qui dépend à la fois du voltage générateur et de la filtration du faisceau à sa sortie.

Examinons donc successivement le rôle de la distance focus-peau, du voltage avec filtration et de leur combinaison, pour déduire les différentes techniques roentgenthérapiques. Nous définirons alors la **radiothérapie de contact** une technique roentgenthérapique caractérisée par l'utilisation :

- 1°) d'un **bas-voltage**, de 50 kilovolts environ, engendrant un faisceau de rayons X dont la longueur d'onde minimum $\lambda_0 = 0,2 \text{ \AA}$; avec une filtration très réduite jusqu'à 0,2 mm. d'aluminium ;
- 2°) d'une **courte distance** focus-peau de l'ordre de quelques centimètres.

Au cours de cet exposé nous montrerons, les conséquences thérapeutiques de cette double condition : courte distance — bas-voltage.

D'abord la conséquence fondamentale, la raison même de cette technique : Seules les lésions que l'on pourra mettre au « contact » du tube seront traitées, seules elles recevront le maximum d'énergie tandis que les tissus sains sous-jacents ne recevront qu'une intensité insignifiante et seront respectés.

Ensuite les autres conséquences : *débit énergétique très élevé*, donc *durée de traitement très court*, quelques minutes au plus, permettant ainsi l'irradiation non seulement des lésions superficielles telles que la peau ou les muqueuses accessibles de la bouche, du vagin, mais encore l'irradiation des lésions profondes *extériorisées* par un acte chirurgical tels les néoplasmes de la vessie ; mais irradiations des *petits volumes* uniquement (quelques centimètres cubes), avec un *appareil de dimensions réduites*, souple, maniable, réalisant un traitement *économique* pour le malade et le médecin.

1. — COURTE DISTANCE FOCUS-PEAU.

Loi de la distance dans le vide.

Les radiations, qu'elles soient lumineuses, calorifiques, roentgéniennes, obéissent toutes dans le vide à la loi de l'inverse du carré de la distance. Cette variation en raison du carré de la distance est universelle puisqu'elle intervient aussi bien dans le monde des ondes que dans le monde matériel, masses neutres, électriques ou magnétiques ; c'est elle qui impose la répartition de l'énergie rayonnée dans le vide comme elle impose son orbe à l'astre qui se meut.

Cette loi pour le rayonnement peut s'énoncer ainsi :

« L'énergie dans le vide reçue sur une même surface, sous le même angle, est inversement proportionnelle au carré de sa distance au foyer », loi qui peut s'interpréter par les formules :

$$\frac{E}{E'} = \frac{d'^2}{d^2}$$

E énergie reçue à la distance d ; E' énergie reçue à la distance d' ;

ou bien : $E = K \cdot \frac{1}{d^2}$; K constante pour un même appareil, une même surface et une même direction.

Cette loi fondamentale ne s'applique plus au voisinage immédiat du foyer, c'est-à-dire lorsque d est trop petit ; elle n'est plus vraie à l'échelle atomique, de même que la loi universelle de l'attraction des masses ; c'est une loi « statistique » exacte à notre échelle et qui reste utilisable encore dans les mesures faites sur les appareils de radiothérapie de contact comme l'ont montré plusieurs auteurs tels que HÆD, BÆSTRUP, LAMERTON... qui affirment que cette loi peut être appliquée jusqu'à 2 cm. du foyer ($d = 2$ cm.), foyer qui, sans être ponctuel, est de très petites dimensions (Voir Appareils p. 67).

De telles mesures dosimétriques présentent de nombreuses difficultés pour être effectuées très près du bout du tube ; or, c'est le bout du tube qui est en contact avec la peau. HÆD,

pour cela, a combiné la méthode photochimique et ionométrique puisque la chambre d'ionisation, quoique très petite, ne permettait d'arriver qu'à 1 cm. du capuchon de « phillite », c'est-à-dire à 3 cm. du foyer. De 8 à 3 cm. du foyer, il a utilisé pour construire la courbe d'intensité la chambre d'ionisation et de 5 à 2 cm. les pastilles de HOLZKNECHT. Ces deux courbes coïncident en partie et ainsi se complètent (fig. 1).

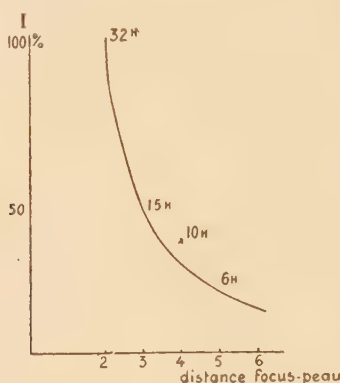


FIG 1.— Courbe indiquant la relation entre l'intensité et la distance dans l'air, vérification expérimentale de la loi de la distance (Hœd).

Avant d'étudier les conséquences de cette loi, rappelons une dernière fois qu'elle est indépendante de la longueur d'onde et par conséquent s'applique simplement au faisceau polychromatique donné par un tube à rayons X. Si la courbe spectrale (voir p. 44) à la sortie du tube a une certaine forme, à une certaine distance la nouvelle courbe spectrale n'est pas déplacée ; le λ_0 et λ_m ne sont pas modifiées ; il existe uniquement une certaine réduction de toutes les ordonnées E dans le rapport des inverses des carrés de la distance.

Ses conséquences.

Pour étudier plus facilement les conséquences de cette loi de la distance, représentons-la par une courbe avec les éloignements d en abscisses et les énergies E en ordonnées (fig. 2).

Considérons sur cette courbe deux régions très différentes : la région AB qui indique la répartition de l'énergie entre 2 et 3 cm. du foyer et la région CD qui indique la répartition à 50 et 51 cm. du foyer.

1°) *Chute rapide de l'énergie près du foyer*, tandis que loin du foyer chute très faible.

En effet, au point B l'énergie n'est plus que les $\left(\frac{2}{3}\right)^2$ c'est-à-dire les $\frac{4}{9}$ de l'énergie en A, donc chute d'environ 50 % ; au contraire au point D l'énergie reste encore le $\left(\frac{50}{51}\right)^2$ de l'énergie en C, donc diminution de moins de 4 %.

Donc, la seule loi de la distance permet d'affirmer que plus

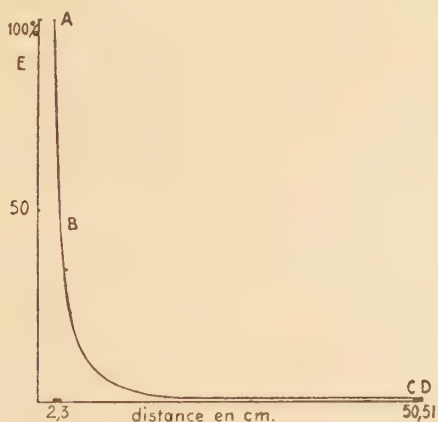


FIG. 2. — Courbe théorique de la loi de l'inverse du carré de la distance, en ordonnées les pourcentages de l'intensité E., en abscisses les distances en cm..

les lésions sont superficielles plus on a intérêt à rapprocher le foyer de la lésion pour que l'énergie distribuée aux tissus malades seuls soit maximum ; au contraire, plus les lésions sont profondes plus il faut éloigner la source pour que les

tissus interposés ne reçoivent pas un surdosage dangereux et inutile.

C'est la raison fondamentale qui fait utiliser la courte distance, « le contact », pour la technique s'adressant aux lésions superficielles.

Cette très courte distance $FP = 2$ cm. pour le tube que nous utilisons a d'autres conséquences qui ne sont pas négligeables et que nous indiquons rapidement ici, puisque nous aurons plusieurs fois l'occasion de les développer.

20) *Très fort débit d'énergie en surface.*

La lésion placée à même l'extrémité du tube, au point A, reçoit le maximum d'énergie émergente, tandis qu'au point C, à 50 cm. du foyer, l'énergie reçue n'est plus que les $1/625$ de l'énergie reçue en A par la même surface. Aussi, pour des intensités de chauffage du filament très faible, 2 mm. A par exemple, la dose utilisable par minute atteint jusqu'à 8.000 r/m. au point A, tandis que cette même énergie ne serait plus au point C que 12 r/m. Evidemment, ces membres supposent que l'énergie se répartit ainsi dans le vide, et si le vide était comblé par l'air ou des filtres, ou des tissus, la diminution serait encore accrue.

Ce *fort débit en surface* est obtenu avec un bon rendement ce qui permettra un *appareil économique* dans sa construction et son fonctionnement. Ces appareils de radiothérapie de contact dont nous décrirons les modèles (voir p. 63) n'ont pas l'importance de ceux utilisés en radiothérapie profonde ; peu encombrants, ils ressemblent plutôt à un appareil de diathermo-coagulation et peuvent être amenés au lit du malade comme à la table d'opération ; le tube lui-même, très mobile, très maniable, peut prendre n'importe quelle position.

Ce fort débit exige un **temps de traitement très court**. Si on adopte une dose unique, la durée de l'irradiation dépasse rarement quelques minutes et permet un **traitement ambulatoire**. Mais la conséquence la plus intéressante de ce fort débit, c'est qu'il permet **l'irradiation de certaines néoformations profondes**, mises à nu pendant quelques instants par le chirurgien.

3°) *Seuls les petits volumes pourront être irradiés.*

Si nous considérons une dernière fois la fig. 2, nous voyons qu'elle nous montre la variation rapide de l'énergie le long de A B et la variation très lente le long de C D. Un calcul facile permet de comprendre que sur la circonférence d'un cercle de rayon x la dose reçue n'est plus que la $\frac{d^2}{d^2 + x^2}$ de la

dose reçue au centre. Ainsi si $x = d$ le bord ne reçoit que la moitié et si $x = \frac{d}{2}$ le bord ne reçoit théoriquement que $\frac{4}{5}$ de

la dose reçue au centre ; mais en réalité ces nombres doivent encore être diminués par suite des phénomènes d'absorption due à l'air et de diffusion due aux tissus. Donc, la dose n'est pas répartie d'une façon homogène sur la surface à irradier lorsque les champs sont trop grands par rapport à la distance FP. En pratique, pour obtenir une dose assez homogène les champs ne dépassent pas sur leur plus grande dimension $\frac{d}{2}$. Pour

la radiothérapie profonde $FP = 50$ cm. le plus grand champ peut avoir 25 cm. de côté, tandis que pour la radiothérapie de contact où $FP = 2$ cm., les champs irradiés seront petits, auront une superficie de quelques centimètres carrés et les volumes irradiés auront quelques centimètres cubes.

Nous indiquerons dans les applications thérapeutiques les moyens pour rendre la dose homogène en surface lorsque les champs sont plus grands (page 127).

En conclusion, l'utilisation d'une courte distance FP, à elle seule, permet de donner aux lésions superficielles ou extériorisées de petit volume, dans un temps très court, une dose en surface très grande au point de vue absolu et au point de vue relatif, c'est-à-dire par rapport à la profondeur, au moyen d'un appareil économique, très maniable.

Nous allons maintenant montrer que l'utilisation d'un bas-voltage, c'est-à-dire des grandes longueurs d'onde, va renforcer encore certaines de ces conséquences.

II. — BAS-VOLTAGE.

Un faisceau de rayons X tel qu'il sort du tube n'est pas monochromatique, mais polychromatique. Cette plage des longueurs d'onde, si elle est illimitée théoriquement vers les grandes longueurs d'onde, est limitée vers les petites longueurs d'onde par le λ_0 (longueur d'onde minimum), inversement proportionnelle au voltage suivant la formule de DUANE-HUNT, déduite des théories quantiques :

$$\lambda_0 = \frac{12350}{V_{\text{volts}}} \text{ . évaluée en } \text{\AA}$$

Donc plus le voltage est grand, plus les longueurs d'ondes sont petites. Par exemple la radiothérapie de contact à 50 KV a son $\lambda_0 = 0,24 \text{ \AA}$ tandis que la radiothérapie profonde à 200 KV a son $\lambda_0 = 0,06 \text{ \AA}$.

Étudions donc le rôle du voltage, c'est-à-dire du facteur λ d'abord sur la matière, ensuite sur l'organisme pour savoir si les radiations utilisées par la radiothérapie de contact ont des propriétés différentes que les radiations utilisées dans les autres radiothérapies.

A) Action sur la matière inerte.

1°) FAISCEAU MONOCHROMATIQUE.

a) *Etude au point de vue quantitatif.*

L'énergie totale d'un faisceau dépend à la fois du nombre de photons et du quantum énergétique de chaque photon $h\nu$. En médecine, cette énergie est mesurée par un de ses effets : l'ionisation de l'air par les R.X. au moyen d'appareils appelés ionomètres et une unité ionométrique internationale « le roentgen international » « r » a été défini comme unité d'intensité : « l'unité internationale d'intensité r d'un faisceau de

rayons X est celle qui, tous les électrons secondaires étant intégralement exploités et l'action des parois de la chambre d'ionisation étant annulée, fait apparaître dans un centimètre cube d'air atmosphérique à zéro degré centigrade et sous pression de 76 cm. de mercure, une conductibilité telle que la quantité mesurée à courant de saturation soit égale à une unité électrostatique ».

Lorsqu'un faisceau parallèle et monochromatique, c'est-à-dire composé de photons ayant la même énergie, traverse la matière inerte, il abandonne une certaine partie de son énergie radiante. Cette énergie absorbée dépend de l'épaisseur du corps traversé, de sa nature, de la longueur d'onde du rayonnement suivant la loi exponentielle :

$$I_x = I_0 e^{-\mu x}$$

I_0 énergie incidente ; I_x énergie reçue à la distance x traversée ; $e = 2,71828$; quant à μ coefficient global d'absorption il est pratiquement de la forme : ρ densité.

$$\left. \begin{array}{l} \frac{\mu}{\rho} = a + C'Z^3\lambda^3 \\ \frac{\sigma}{\rho} = a \quad \quad \quad \frac{\tau}{\rho} = C'Z^3\lambda^3 \end{array} \right\} \begin{array}{l} Z \text{ numéro atomique du corps} \\ \text{absorbant} \\ a, C' \text{ constantes} \\ \sigma \text{ facteur de diffusion} \\ \tau \text{ facteur de fluorescence} \end{array}$$

(Bragg-Pierce)

Si au lieu d'un corps simple il existe un mélange ou une combinaison, Z doit être remplacé par une fonction des numéros atomiques de l'absorbant ; l'absorption est un phénomène atomique qui ne dépend pas de l'état physique ou chimique des atomes.

Formule uniquement applicable dans les tranches comprises entre les longueurs d'ondes critiques qui correspondent aux discontinuités d'absorption : C' ayant pour chaque tranche une valeur particulière.

Ces longueurs d'ondes critiques caractérisent, comme leur nom l'indique, l'élément puisqu'elles correspondent aux différents niveaux d'énergie K, L, M de l'atome absorbant et par conséquent elles suivent la relation très simple de Moseley.

$$\sqrt{\nu_k} = K [Z - a] \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Loi de Moseley} \\ K \text{ constante} \\ a \text{ constante très petite} \\ \nu_k \text{ fréquence correspondant au niveau } K \end{array} \right.$$

qui s'écrit encore : $\sqrt{\frac{\nu_k}{R}} = Z - a$

ν_k fréquence correspondant au niveau K.
 a constante très petite pour un niveau donné
 R constante de Rydberg : $3,2 \cdot 10^{15} \text{ Sec}^{-1}$

Cette loi exprime que pour un corps absorbant donné et en dehors des limites de discontinuités, les radiations sont d'autant plus absorbées que leur longueur d'onde est plus grande.

Concluons, en nous basant sur les phénomènes d'absorption uniquement, que pour atteindre au maximum les lésions profondes il faut utiliser des radiations à faible longueur d'onde, encore appelées dures ou pénétrantes ; au contraire, pour traiter les lésions superficielles ou rendues telles par le chirurgien, il est nécessaire d'utiliser des radiations de plus grande longueur d'onde appelées encore radiations molles qui, absorbées dans les premiers centimètres, ont une action très réduite sur les tissus sains sous-jacents.

b) *Etude au point de vue qualitatif.*

Ce qui vient d'être décrit au sujet de l'action de R. X. sur la matière représente le point de vue quantitatif puisqu'il s'agit du taux de l'énergie absorbée. Les divers phénomènes observés, c'est-à-dire le point de vue qualitatif, mérite aussi quelque étude puisqu'il nous donne un aperçu de ce qui se produira dans la matière vivante.

Un faisceau monochromatique de R. X. de longueur d'onde qui tombe sur la matière engendre un rayonnement qui peut être divisé en deux parties :

1°) un rayonnement où prédomine l'élément ondulatoire qui est composé de photons :

- a) Radiations de même longueur d'onde } non absorbées.
diffusées sans changement
de longueur d'onde,
- b) Radiation de longueur } plage diffusée due à l'effet Compton
différente de } radiations caractéristiques
mais toujours plus grandes } émises par l'anticathode radiations calorifiques,

donc naissance d'un faisceau polychromatique qui se déplace vers les grandes longueurs d'onde ;

2°) un rayonnement où prédomine l'élément corpusculaire qui est composé d'électrons :

- a) électrons de recul dus à l'effet Compton,
b) électrons dus à l'effet photo-électrique.

2°) *Faisceau polychromatique.*

Ce qui précède se rapporte uniquement à un faisceau monochromatique mais un tube à R. X. ne donne qu'un faisceau polychromatique ; d'une part limité vers les petites longueurs d'onde par λ_0 longueur d'onde minimum qui dépend uniquement de la tension génératrice selon la formule de Duane $= \frac{12350}{V_{\text{volts}}} \text{ \AA}$; et, d'autre part, théoriquement illimité vers les grandes longueurs d'ondes, l'ensemble formant le fond continu.

Si une épaisseur de matière est placée sur le trajet d'un tel faisceau, chaque longueur d'onde est absorbée spécifiquement d'après ce que nous avons vu : l'absorption d'énergie étant d'autant plus grande que la longueur d'onde est plus grande. Cette action de la matière sur les radiations est comparable à l'action d'un tamis, d'un filtre sur les particules de matières de différentes grosseurs qui laisse passer surtout les plus petites particules ; de même la filtration d'un faisceau de R. X. par la matière aura le double but : « durcir » et « homogénéiser » le faisceau en supprimant une partie des radiations molles du fond continu (fig. 3).

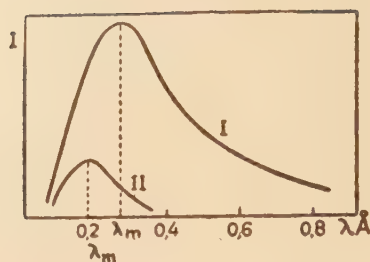


FIG. 3. — Courbes spectrales de répartition de l'énergie.
I. Avant filtration.
II. Après filtration.

L'absorption d'un faisceau monochromatique étant représentée par une exponentielle ou par une droite en coordonnées semi-logarithmiques (fig. 4), l'absorption d'un faisceau poly-

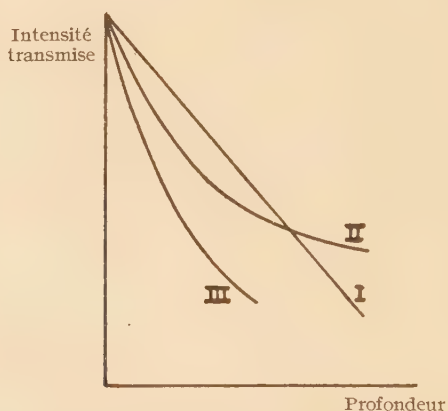


FIG. 4. — Courbes d'absorption.
I. Faisceau monochromatique en coordonnées semi-logarithmiques.
II. Faisceau polychromatique en coordonnées semi-logarithmiques.
III. Faisceau monochromatique en coordonnées ordinaires.

chromatique ne répond pas à une formule rigoureuse et il faut construire la courbe point par point. Sur les figures les 3 courbes illustrent ce qui précède.

Nous étudierons plus loin comment peut être caractérisé le

polychromatisme d'un faisceau, caractéristique indispensable pour comparer les traitements avec les divers appareils ; pour le moment nous indiquerons le voltage générateur et la filtration associée pour préciser un faisceau X.

Pour terminer ce paragraphe, comparons la répartition de l'énergie dans le vide et dans la matière.

— Dans le vide, l'énergie reçue par une surface est indépendante de la longueur d'onde et dépend uniquement de la distance au foyer selon la loi de l'inverse du carré.

— Dans la matière, l'énergie transmise dépend *spécifiquement de la longueur d'onde* et de la nature de la matière suivant la loi de Bragg-Pierce et de Moseley, ainsi que de l'épaisseur traversée suivant une loi exponentielle.

Dans ce dernier cas, la courbe d'énergie spectrale obtenue après une certaine épaisseur a sa forme modifiée ; l'effet de la filtration se traduit par une courbe spectrale moins étalée, une diminution variable des ordonnées E et par une diminution de λ_m , correspondant à l'énergie maximum ; au contraire la longueur d'onde λ_0 reste fixe (voir fig. 3).

B) — Action sur la matière vivante.

Nous venons de voir que la matière réagit à l'action d'un rayonnement au point de vue énergétique par un phénomène, l'absorption qui dépend électivement de la longueur d'onde et qui en dépend de deux manières : d'une façon continue selon la relation de Bragg-Pierce et d'une façon discontinue selon la relation de Moseley. La matière vivante suivra évidemment les lois d'absorption de toute matière puisque les atomes sont les mêmes et que l'absorption est un phénomène atomique ; mais en plus la vie elle-même va-t-elle répondre différemment à chaque longueur d'onde ? Certaines longueurs d'ondes auront-elles des effets cellulaires, spécifiques, critiques ? Ce problème du rôle du facteur λ sera étudié en détail plus loin (p. 85) ; nous en donnons la conclusion ici :

Il semble que les effets biologiques observés dépendent de

l'énergie absorbée et non pas de la longueur d'onde. Une *même épaisseur* d'un *même tissu* absorbant une *même quantité d'énergie*, dans le *même temps* et la *même ambiance* biologique, engendre les *mêmes réactions* (compte tenu des variations individuelles), quelle que soit la longueur d'onde qui apporte cette même énergie.

Les radiations molles de la radiothérapie de contact, engendrées à bas-voltage, sans filtration, ont la propriété d'être absorbée plus rapidement dans les premiers centimètres de la peau : ainsi l'énergie est réduite de moitié après un parcours de 1 cm. de profondeur ; tandis que les radiations dures, produites par potentiel élevé et après filtration, ont une énergie réduite de moitié seulement après une dizaine de centimètres. Pour une même dose en surface, les radiations molles abandonnent la presque totalité de leur énergie dans les tissus superficiels tandis que les tissus profonds sont peu irradiés. Par conséquent, le bas-voltage sera utilisé pour produire un rayonnement s'adressant électivement aux lésions superficielles ; il renforce donc l'action sélective de la courte distance sur les lésions qui peuvent être mises au contact du tube. Le bas-voltage permet, lui aussi, une économie dans la construction et le fonctionnement de l'appareil.

III. — ASSOCIATION COURTE DISTANCE ET BAS-VOLTAGE.

La loi de propagation du rayonnement obéit dans le vide à l'inverse du carré de la distance à condition que la source soit punctiforme, mais ne dépend pas de la longueur d'onde. Au contraire la loi exponentielle d'absorption dépend dans un milieu donné de la longueur d'onde et non de la distance au foyer si le faisceau est cylindrique.

Nous proposons une formule que nous n'avons jamais rencontrée, et qui réunit les deux relations précédentes en une

seule ; les différentes vérifications que nous avons faites surtout dans l'eau ou la paraffine, nous permettent de dire qu'elle représente d'une façon très convenable l'expérience.

Si nous supposons le rayonnement monochromatique :

$$I_x = I_0 \frac{y^2}{(x + y)^2} e^{-\mu x}$$

I_x : intensité à la profondeur x du milieu considéré

y : distance du foyer à la peau F.P. = y

μ : coefficient d'absorption pour la longueur d'onde considérée

I_0 : intensité dans l'air au niveau de la surface ($x = 0$)

Cette formule néglige à la fois le polychromatisme et la diffusion en retour.

Le produit $I_0 y^2$ est constant, il est égal à l'intensité du faisceau à la distance unité du foyer $y = 1$.

Cette relation a l'avantage de préciser numériquement, à la profondeur donnée x le rôle relatif de la distance y et du coefficient μ c'est-à-dire de la longueur d'onde λ si le milieu est choisi.

Si la distance à la peau, y , est très grande par rapport à la profondeur des tissus x , le terme $\frac{y^2}{(x+y)^2} = \left(\frac{x}{y} + 1\right)^{-2}$ tend vers sa plus grande valeur c'est-à-dire l'unité et l'énergie absorbée ne dépend alors que du terme $e^{-\mu x}$ c'est-à-dire de la longueur d'onde uniquement.

Au contraire si la distance y est de l'ordre de grandeur de la profondeur x , le terme $\frac{y^2}{(x+y)^2}$ ne se rapproche plus de l'unité et ne doit pas être négligé ; il peut être plus petit que le terme exponentiel $e^{-\mu x}$:

Par exemple, avec l'appareil Philips, fonctionnant sous 50 KV environ, et une filtration totale de 2,7 mm. Al qui monochromatise pratiquement le faisceau, nous obtenons les résultats suivants :

soit F.P. = $y = 2$ cm., $\mu = 0,27$ et la profondeur des tissus $x = 4$, la formule que je propose, donne

$$\frac{I_x}{I_0} = \left(\frac{2}{4+2} \right)^2 e^{-0,27 \times 4} = \frac{1}{9} \times 0,34 = 0,037$$

(l'expérience, en particulier celle de VAN DER PLAATS donne 0,034). Donc en rapprochant le foyer à 2 cm. de la peau, la dose à 4 cm. n'est plus que le 1/9 environ de ce qu'elle serait si le foyer était très éloigné.

D'après ce qui a été dit pour détruire le plus efficacement les lésions superficielles en respectant le plus possible les tissus sains sous-jacents, il faudra à la fois diminuer la distance focus-peau ; augmenter les longueurs d'onde au moyen d'un bas-voltage et peu filtrer.

Au contraire, pour atteindre les organes profonds malades en lésant le moins possible les tissus interposés sur le trajet du faisceau, il faudra à la fois augmenter la distance FP et diminuer l'ensemble des longueurs d'ondes au moyen d'un haut voltage et de la filtration.

C'est en se basant sur ces considérations que les techniques roentgenthérapiques peuvent être classées :

1^o) **Radiothérapie superficielle**, dont les 3 variétés sont :

a) Radiothérapie avec des rayons très mous

Tension 10 KV ($\lambda_0 = 1,2$ Å environ)

FP = à quelques cm., sans filtre.

b) Radiothérapie de contact

Tension 50 KV environ ($\lambda_0 = 0,25$ Å)

FP = à quelques cm., sans filtre ou avec filtre très mince d'Al.

c) Radiothérapie à courte distance

Tension de l'ordre de 100 KV ($\lambda_0 = 0,12$ Å)

FP = 10 à 15 cm. avec filtre mince.

2^o) **Radiothérapie profonde**, dont les 2 variétés sont :

a) Tension de 200 KV ($\lambda_0 = 0,06$ Å) en une distance de F.P. = 50 cm.

c'est la méthode la plus répandue.

- b) à voltage plus grand que 400 KV ($\lambda_0 = 0,03 \text{ \AA}$) et à une distance FP = 1 mètre
appelée ultra-pénétrante, très peu utilisée se rapproche de la télécuriethérapie.

Toute radiothérapie profonde ou pénétrante utilise toujours les filtres pour « durcir » et « homogénéiser » le faisceau en supprimant par absorption les radiations molles du fond continu pour ne garder ainsi qu'une plage assez réduite de radiations dures.

La radiothérapie de contact est donc un cas particulier de la roëntgenthérapie superficielle et, comme la curiethérapie de contact, porte les radiations au sein même des lésions à traiter. La fig. 5 compare les intensités absorbées par la radiothérapie de contact et la curiethérapie en surface.

1^o) La méthode des rayons très mous, appelée encore rayons limites ou de Bucky, est peu répandue surtout en France. Elle s'adresse aux lésions très superficielles, celles de l'épiderme ou de la couche papillaire ; après 1 mm. d'épaisseur, l'intensité de faisceau a diminué de plus de la moitié. Certaines dermatoses en sont heureusement influencées.

2^o) La radiothérapie à courte distance de 10 cm. environ est encore peu utilisée actuellement ; elle se rapproche des premières techniques radiothérapiques utilisées. Elle sera indiquée pour les lésions cutanées dont l'épaisseur ou le volume ne permettrait pas la radiothérapie de contact.

3^o) La curiethérapie est aussi une technique d'irradiation par des rayons X de très faible longueur d'ondes (λ compris entre 0,5 $\text{\AA}$ et 0,01 $\text{\AA}$) émis par le radium en supposant que des filtres arrêtent le rayonnement des α et β . Technique qui a deux variétés.

— la télécuriethérapie, peu utilisée et qui ne nous intéresse pas ici, et la curiethérapie de contact dans laquelle les tubes ou aiguilles de radium sont portés au contact même des cellules pathologiques pendant quelques jours.

Nous comparerons plus loin l'application du radium et le contact en radiothérapie et nous montrerons que ces deux techniques se rapprochent parce que les radiations sont portées au sein même des lésions et que la loi de la distance

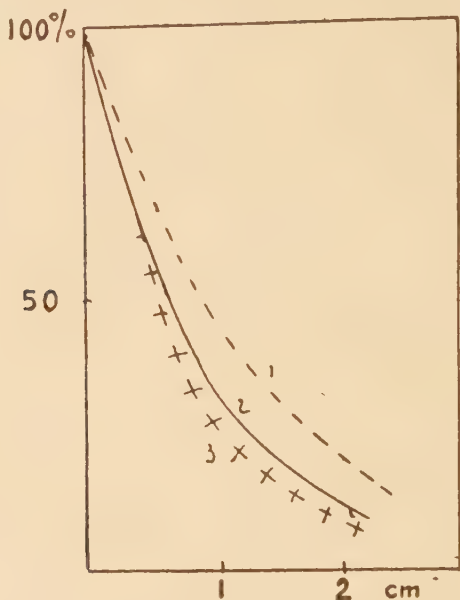


FIG. 5. — Comparaison de l'absorption du rayonnement du Radium et de la Radiothérapie de contact (Hœd).

- 1) Radium 3×4 cm à 1 cm de la surface.
- 2) Radiothérapie de contact à 2 cm de foyer.
- 3) Radium sur la surface.

en ordonnées les pourcentages d'intensité, en abscisses la profondeur des tissus.

joue un rôle important et semblable dans les deux cas, mais ces deux techniques diffèrent par la durée du traitement, la *répartition de la dose dans le temps*. Quant aux longueurs d'ondes utilisées, très dures dans la curiethérapie, molles dans la radiothérapie de contact, elles ne semblent pas intervenir.

CHAPITRE II

ETUDE PHYSIQUE DU FAISCEAU

L'étude physique d'un rayonnement est double : elle est à la fois qualitative, c'est-à-dire qu'elle concerne les longueurs d'onde, la dureté du faisceau ; et quantitative, c'est-à-dire qu'elle mesure les intensités, les énergies de ce faisceau. Ces deux sortes de mesures qualitatives et quantitatives sont pratiquement inséparables puisque les mesures d'intensité permettent de caractériser d'une certaine façon la qualité d'un rayonnement.

Ce qui intéresse le médecin c'est avant tout la connaissance du faisceau à la sortie du tube et la répartition de son énergie dans les tissus. Nous allons donc étudier dans ce chapitre :

- I. *Ionométrie* (étude quantitative) ;
- II. *Qualité du faisceau à sa sortie du tube* ;
- III. *Dosimétrie pratique*.

I. — IONOMÉTRIE.

Étudions donc d'abord le moyen de mesurer l'intensité d'un faisceau de photons X ; ce moyen utilise un effet des rayons X sur les gaz : l'ionisation. Nous avons vu que les photons X engendraient un rayonnement corpusculaire d'électrons ; ces électrons sont arrachés, par le rayonnement,

aux atomes électriquement neutres (effet photo-électrique, électrons de recul) et ainsi apparaît chaque fois qu'un électron est arraché, une paire d'ions : ion positif formé par le reste de l'atome qui a perdu un électron, l'ion négatif est formé par l'électron lui-même.

Cet effet d'ionisation a été depuis longtemps utilisé pour mesurer les intensités ; on rapporte celles-ci au nombre de paires d'ions formées par centimètre cube de trajet de la radiation X dans un gaz donné. Pour cela, un certain volume gazeux dans les conditions de pression et de température déterminées est enfermé à l'intérieur d'un cylindre étanche qui contient deux plateaux de condensateur, entre lesquels existe une différence de potentiel élevée et constante. Lorsque les photons dont on veut mesurer l'énergie passent entre les deux plateaux, ils donnent naissance aux ions ; ceux-ci sont attirés suivant leur signe par le plateau correspondant et créent un courant électrique, dit *courant d'ionisation* qui peut être mesuré soit par l'électromètre soit par le galvanomètre. Lorsque la différence de potentiel entre les deux plateaux augmente, les ions sont attirés plus rapidement et n'ont pas le temps de se recombiner pour constituer un élément neutre et se soustraire ainsi à l'attraction des plateaux ; aussi le courant d'ionisation croît rapidement ; mais cette augmentation est limitée par le nombre d'ions formés par seconde et la valeur constante d'un tel courant est dite de *saturation* ; c'est ce *courant d'ionisation* à saturation qui *caractérise l'intensité du faisceau ionisant*.

Peut-on affirmer que si toute l'énergie du faisceau est absorbée pour produire des ions, cette ionisation mesurera rigoureusement l'énergie de ce rayonnement ? Il est très difficile de répondre exactement à cette question, mais nous ferons la remarque suivante : un électron, suivant le niveau énergétique K ou L, auquel il appartient peut prendre un photon $h\nu$, une énergie différente pour donner cependant la même paire d'ions transportant la même quantité d'électricité ; on peut donc concevoir qu'une même énergie, à l'échelle quantique tout au moins, n'engendre pas le même nombre de paires d'ions.

De même l'effet AUGER, encore appelé effet photo-électrique composé ou en cascade, nous montre que dans l'atome un seul photon $h\nu$ peut éjecter plusieurs électrons en nombre variable qui interviennent eux aussi pour former le courant d'ionisation.

Sans préciser la question davantage, il vaut mieux dire par conséquent que le courant d'ionisation caractérise l'énergie d'un faisceau mais ne la mesure pas rigoureusement ; pour la mesurer rigoureusement il faudrait transformer toute cette énergie en chaleur. Cependant à l'échelle macroscopique que nous employons, la loi du grand nombre joue et nous avons des intensités moyennes qui doivent se rapprocher des valeurs des énergies ou leur être proportionnelles. Les intensités sont rapportées à une unité de mesure : le roentgen international.

La construction d'une chambre d'ionisation exige des précautions ; il faut absorber tout le rayonnement et l'absorber uniquement par le gaz et non par les électrodes ou les parois. Les gaz rares ont l'avantage d'être monoatomiques, inertes, très lourds et à potentiel d'ionisation très faible ; mais difficiles à se procurer ; en pratique médicale on utilise l'air dont les constituants de faible numéro-atomique permettent de se tenir, même avec la radiothérapie de contact, assez loin des discontinuités d'absorption. De plus, les constituants de l'air C,O,N,H se retrouvent dans les tissus, Mais les avantages les plus importants de cette dosimétrie physique sont :

Commutativité : c'est-à-dire qu'une dose de $a(r)$ par exemple suivie de b donne le même résultat qu'une dose b suivie de a quel que soit le temps qui les sépare.

Associativité : une dose de a et ensuite de b donne le même effet qu'une dose de $a + b$.

Sensibilité : cette unité r présente en médecine une sensibilité suffisante puisque l'échelle des doses s'étend de 25 r à 40.000 r par séance.

Facilité des mesures au moyen des ionomètres.

Nous montrerons plus loin que la dosimétrie biologique ne possède aucune de ses propriétés nécessaires pour définir une unité de mesure.

IONOMÈTRES

Personnellement nous avons utilisé un dosimètre Hammer spécial adapté à de telles mesures : courte distance, forte intensité.

Lamerton a construit une chambre spéciale d'ionisation pouvant être utilisée avec le dosimètre Victoreen. C'est un cylindre ($l = 0,75$ cm., $d = 0,8$ cm.) dont les parois sont faites d'une matière « Aerion » et ont une épaisseur de 0,9 mm. L'extrémité de la chambre est de cellophane graphitée d'épaisseur 0,04 mm.

II. — CARACTÉRISTIQUES DU FAISCEAU DE RAYONS X.

Le faisceau tel qu'il sort du tube est polychromatique, hétérogène ; il est formé d'un grand nombre de longueurs d'onde λ et à chaque longueur d'onde correspond une certaine énergie E ; la meilleure caractéristique d'un faisceau est la fonction $E = f(\lambda)$, entre λ_0 longueur d'onde minimum et λ_∞ ; fonction dont la courbe représentative est la courbe spectrale de répartition d'énergie et qui se construit expérimentalement en utilisant les phénomènes de diffraction ou au moyen d'une formule.

L'absorption aussi est un phénomène qui dépend de la longueur d'onde λ et qui peut par conséquent indiquer la qualité du faisceau. On construit alors la courbe d'absorption dans un corps donné comme l'aluminium par exemple : $E = g(x)$ l'énergie E en fonction de l'épaisseur x traversée.

Enfin, certains auteurs ont trouvé que les courbes, courbe spectrale, courbe d'absorption, étaient soit trop compliquées

à construire, soit difficiles à comparer, à manier et ont proposé des nombres au lieu des courbes pour caractériser la qualité d'un faisceau. Envisageons successivement ces différents points de vue, pour la radiothérapie de contact : courbe spectrale, courbe d'absorption, nombres caractéristiques.

A) Répartition de l'énergie en fonction de la longueur d'onde (courbe spectrale).

Pour mesurer l'énergie en fonction de la longueur d'onde il faut d'abord mesurer les longueurs d'onde, ensuite mesurer l'intensité correspondante.

Bande Ag

Bande Br

Raies L_r



0,5

0,9

1

1,3

1,5

Å

γ

β

α

FIG. 6. — Spectre donné par l'appareil Philips avec cathode de tungstène.

a) MESURE DES LONGUEURS D'ONDE.

Nous avons utilisé la diffraction des rayons X par la *calcite*, cristal régulier qui a un pouvoir réflecteur quatre fois plus petit que le sel gemme mais qui donne des raies très fines. Le cristal de calcite tourne et selon la théorie de Bragg étale le spectre des radiations qui est reçu sur une plaque photographique. Cette rotation est très lente et de faible amplitude (15° par minute). L'image de la fig. 6 est le spectre de l'anticathode de tungstène donnée par l'appareil Philips excité par 48 Kilovolts, 2 mm. A, sans filtre supplémentaire, posé pendant 5 heures. Ce spectre comprend 3 spectres en réalité : spectre continu, caractéristiques de raies, spectre d'absorption.

1^o) *Spectre continu.*

Nous savons que le faisceau est polychromatique et contient une suite ininterrompue de longueur d'onde qui vont d'une façon continue et régulière impressionner la plaque photographique lorsque les deux conditions seront satisfaites :

$$\begin{aligned} i &= r = \theta \\ 2 d \sin \theta &= n \lambda \end{aligned} \quad \text{Relation de BRAGG}$$

i, θ angle d'incidence ; r, θ angle de réflexion ; λ longueur d'onde ; n nombre entier ; d équidistance des plans réflecteurs
 $d = 3028 \text{ U.X.}$ (1) représente l'équidistance 1.0.0.

Cette image en large bande répondant à toutes les radiations continues représente le fond continu indépendant de l'anticathode. Il est limité vers les petites longueurs d'onde par λ_0 longueur d'onde minimum pour laquelle l'intensité s'annule et qui dépend uniquement du potentiel V maximum accélérateur des électrons

$$\lambda_0 = \frac{hc}{eV} = \frac{12,350}{V_{\text{Kilo-Volts}}} \quad (\text{DUANE-HUNT})$$

Cette longueur d'onde λ_0 a été mesurée en appliquant la relation de Bragg (la constante du spectroscope étant déterminée et vérifiée par les raies caractéristiques du tungstène, les discontinuités de l'argent et du brome). Nous avons trouvé $\lambda_0 = 0,25 \text{ \AA}$ ce qui correspond à un potentiel d'environ $V = 48$ kilovolts selon la relation de DUANE-HUNT.

Vers les grandes longueurs d'ondes le spectre n'est pas limité et les intensités correspondantes tendent asymptotiquement vers 0. La théorie électromagnétique n'explique pas la limitation du spectre vers les hautes fréquences ; il est nécessaire de faire intervenir les quanta ; mais les tentatives pour expliquer l'allure des courbes spectrales observées ne sont pas pleinement satisfaisantes.

(1) L'unité $X = \text{U.X} = 10^{-11} \text{ cm.}$ ou encore un millième d'Angström $\text{\AA}$.

2^o) *Spectre discontinu d'émission des raies caractéristiques.*

Sur la bande nous voyons des raies brillantes qui forment le spectre caractéristique de l'anticathode. Ce sont les raies L du tungstène L_{α} , L_{β} , L_{γ} qui se dédoublent d'ailleurs.

Pour voir apparaître une raie caractéristique d'un certain niveau énergétique d'un atome donné, il faut que les électrons cathodiques aient une certaine énergie $\frac{1}{2} mv^2 = eV$ au moins égale au quantum d'énergie du niveau donné. Dans le cas considéré de 48 KV: $h\nu_L < \frac{1}{2} mv^2 < h\nu_K$ donc pas de rayonnement K, mais uniquement les raies L et M; cependant les raies M ne sont pas assez intenses pour être enregistrées (fig. 6).

3^o) *Spectre discontinu d'absorption.*

Nous savons que la matière présente des discontinuités d'absorption, c'est-à-dire de brusques variations de μ ou plus exactement de $\frac{\tau}{\rho}$ suivant la loi de Moseley. Sur le spectre continu qui va impressionner la pellicule photographique, l'argent et le brome vont pour certaines longueurs d'ondes critiques manifester une variation brusque dans l'absorption, ce qui explique la modification brusque du noircissement.

Pour l'argent $\lambda = 0,485 \text{ \AA}$; pour le Brome $\lambda = 0,917 \text{ \AA}$. Ces discontinuités sont indiquées sur la figure 6

b) MESURE DES INTENSITÉS.

La diffraction par la calcite étale les longueurs d'onde et il faut mesurer les intensités correspondantes à chaque longueur d'onde. Cette mesure se fait soit sur la plaque photographique, soit par la chambre d'ionisation et permet de construire la courbe spectrale.

Un microphotomètre apprécie le noircissement le long du spectre c'est-à-dire suivant λ et des calculs permettent d'en

déduire l'intensité E correspondante et par conséquent la courbe $E = f(\lambda)$ d'énergie spectrale.

On peut aussi utiliser une chambre d'ionisation appropriée qui tourne d'un angle 2θ quand le cristal tourne d'un angle θ et ainsi obtenir les intensités de chaque faisceau qui peut être considéré comme monochromatique.

Dans les deux cas la technique n'est pas passée dans la pratique médicale pour de nombreuses raisons.

c) COURBE SPECTRALE.

Les courbes spectrales qui sont en général obtenues sont de deux types selon qu'il existe ou non dans le spectre continu les raies caractéristiques de l'anticathode.

Tant que le potentiel appliqué au tube est assez faible pour que les raies caractéristiques ne soient pas excitées, le spectromètre mesure l'intensité du seul fond continu et la courbe spectrale a l'allure générale indiquée dans la figure 8. Il en est de même lorsque la courbe spectrale est construite en grande partie entre deux longueurs d'ondes critiques; c'est le cas pour la courbe spectrale du faisceau de la radiothérapie de contact engendrée sous 48 KV environ. En effet, les raies K du tungstène correspondent aux longueurs d'ondes voisines de 0,20 Å, c'est-à-dire au potentiel excitateur de 70 KV, tandis que l'origine λ_0 pour le spectre de l'appareil Philips est de 0,25 Å engendré par 48 KV environ; d'autre part, les crêtes des raies L n'apparaissent qu'après 1 Å, c'est-à-dire lorsque l'intensité a déjà considérablement diminué.

Le second type de courbe spectrale présente des séries de crêtes, des pics très aigus, lorsque la tension excitatrice dépasse immédiatement la tension critique d'excitation d'une série de raies; mais ces crêtes se discernent facilement de l'allure de la courbe arrondie propre à la radiation générale.

Cette allure de la courbe spectrale est caractérisée par deux longueurs d'onde importantes.

λ_0 longueur d'onde minimum telle que théoriquement et rigoureusement $\lambda_0 V = 12,350$ (Duane-Hunt)

λ_m longueur d'onde du maximum de la courbe.

D'après ce que nous avons vu, nous pouvons construire une courbe spectrale en étalant le spectre et en mesurant pour chaque longueur d'onde l'intensité correspondante soit par le noircissement d'une plaque photographique soit par l'ionisation de l'air. Il existe encore une autre méthode que nous avons utilisée et qui est basée sur l'absorption du faisceau à travers la matière.

Connaissant la loi d'absorption pour le faisceau polychromatique, Silberstein a montré que la répartition de l'énergie pour chaque longueur d'onde peut être calculée.

SILBERSTEIN a donné une formule empirique (I) de l'absorption ou mieux l'énergie transmise à travers une épaisseur donnée et ensuite au moyen de calcul en a déduit la courbe d'énergie spectrale. JONES a adapté cette équation (I) aux rayonnements durs, de la thérapie profonde et à son tour a déduit de cette équation modifiée des calculs pour construire une courbe d'énergie spectrale qui représente mieux l'expérience pour les rayons durs. Soit l'équation de Silberstein

$$(I) \quad I_x = I_0 e^{-Ax - B\sqrt{x}}$$

I_0 = Intensité initiale ; I_x = intensité après l'épaisseur x
A et B dépendent du voltage et de la nature du corps absorbant ; $A = \mu_0$ coefficient d'absorption correspondant à λ_0

Nous allons montrer d'abord que cette formule empirique est en accord avec l'expérience pour le faisceau émis par l'appareil de radiothérapie de contact sans filtration supplémentaire et ensuite nous en déduirons la construction de la courbe d'énergie spectrale, qui ressemble parfaitement aux courbes construites expérimentalement par ULREY et d'autres chercheurs.

a) L'équation de Silberstein rend compte de la transmission à travers l'aluminium du faisceau de thérapie de contact émis à 48 KV environ, sans filtration, à 4 cm. du foyer.

Détermination des constantes

Déterminons les constantes A et B :

A représente le coefficient d'absorption totale μ_0 par centimètre pour la longueur d'onde minimum $\lambda_0 = 0,25 \text{ \AA}$ pour l'aluminium. Il est donné pour les tables d'absorption :

$$A = 1$$

B peut être déterminé en connaissant pour une épaisseur donnée x le taux de transmission $\frac{I_x}{I_0}$; il existe par conséquent plusieurs façons de le calculer ; prenons par exemple :

$x = 0,03 \text{ cm.}$ épaisseur qui réduit de moitié l'intensité

$$\frac{I_x}{I_0} = \frac{1}{2}$$

$$B = 4$$

L'équation de Silberstein pour la transmission du faisceau considéré dans l'aluminium devient donc :

$$(II) \quad I_x = I_0 e^{-x - 4\sqrt{x}}$$

I_x intensité transmise à l'épaisseur x d'aluminium ;

I_0 intensité initiale.

Vérification expérimentale.

Pour confronter une telle relation avec l'expérience il suffit évidemment de comparer des données de l'expérience et la courbe obtenue par la relation précédente (II). Mais nous modifierons l'expression (II) pour que la courbe soit une droite, ce qui permet une vérification rapide et permet aussi d'apporter la correction indiquée par JONES s'il y a lieu.

Nous pouvons écrire successivement :

$$I_x = I_0 e^{-Ax - B\sqrt{x}} ; \quad \frac{I_x}{I_0} \cdot e^{Ax} = e^{-B\sqrt{x}} = e^{-y}$$

en posant par conséquent $y = B\sqrt{x} = -\text{Log} \frac{I_x}{I_0} e^{Ax}$

Considérons $y = -\text{Log} \frac{I_x}{I_0} \cdot e^{Ax}$ comme variable et étudions

la fonction $\frac{x}{y}$

$$\frac{x}{y} = \frac{y}{B^2}$$

Calculons séparément les valeurs expérimentales de $\frac{x}{y}$ et de y et portons sur un graphique pour voir si les points obtenus sont situés sur la droite $Y = \frac{X}{B^2}$ ($Y = \frac{x}{y}$ $X = y$) déduite de la formule de Silberstein.

Voici les résultats des calculs que nous avons faits et des expériences portant sur l'Aluminium :

A = 1	B = 4	I ₀ = 1900	
épaisseur x en cm.	x/y	y	I _x
0,03	0,045	0,66	950
0,1	0,071	1,40	420
0,25	0,12	2,05	190
0,4	0,164	2,65	90

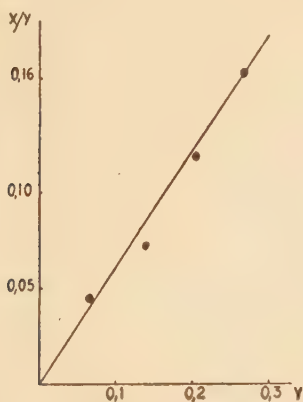


FIG. 7. — Vérification expérimentale de la formule de Silberstein.

Représentons graphiquement ces résultats (fig. 7) ; les points se répartissent avec une précision très acceptable, compte tenu des nombreuses erreurs expérimentales, le long d'une droite, qui passe par l'origine et qui a comme pente B^{-2} : c'est donc la droite $\frac{x}{y} = \frac{y}{B^2}$ déduite de la relation empirique de Silberstein.

d) COURBE SPECTRALE DÉDUITE DE LA COURBE D'ABSORPTION EXPRIMÉE PAR LA RELATION DE SILBERSTEIN.

1°) *Cas général.* — En supposant vérifiée l'équation (I), nous allons en déduire par des calculs rigoureux la répartition de l'intensité I_λ en fonction de la longueur d'onde λ .

Aux longueur d'onde comprises entre λ et $\lambda + d\lambda$ correspond une énergie $dI_\lambda = f(\lambda) d\lambda$; et l'intensité totale initiale I_0 est par conséquent :

$$I_0 = \int_{\lambda_0}^{\infty} f(\lambda) d\lambda$$

l'intégrale étant étendue à la plage limitée vers les petites longueurs d'onde par λ_0 et illimitée théoriquement vers les grandes longueurs d'onde à cause de l'existence même du fond continu.

Après une épaisseur x d'absorbant, chaque radiation λ a son intensité diminuée suivant la loi exponentielle, qui devient alors égale à $f(\lambda) e^{-\mu x} d\lambda$ (μ étant le coefficient d'absorption qui est fonction de λ).

L'intensité totale après l'épaisseur x sera donc :

$$(III) \quad I_x = \int_{\lambda_0}^{\infty} f(\lambda) e^{-\mu x} d\lambda$$

Si nous connaissons I_x il est possible théoriquement de calculer $f(\lambda)$, c'est ce que permet la formule empirique de Silberstein qui donne I_x

$$I_x = I_0 e^{-Ax - B\sqrt{x}} = \int_{\lambda_0}^{\infty} f(\lambda) e^{-\mu(\lambda) \cdot x} d\lambda$$

Indiquons rapidement les calculs qui permettent d'obtenir $f(\lambda)$

Changements de variables :

posons $f(\lambda) d\lambda = \varphi(\mu) d\mu$ donc :

$$(IV) \quad I_x = \int_{\mu_0}^{\infty} e^{-\mu x} \cdot \varphi(\mu) \cdot d\mu$$

Intégrale qui n'a pas de solution dans le cas général, mais qui est résolue si on admet :

$$\varphi(\mu) = \frac{I_0}{2\sqrt{\pi}} (\mu - A)^{-3/2} e^{-B^2/4 (\mu-A)}$$

En effet, posons $\mu - A = u^2$, l'intégrale (IV) devient

$$I_x = I_0 \frac{B}{\sqrt{\pi}} e^{-Ax} \int_0^\infty e^{-\frac{x}{u^2} - \frac{B^2}{4} u^2} du$$

intégrale de Laplace, dont la solution est

$$\int_0^\infty e^{-\frac{x}{u^2} - \frac{B^2}{4} u^2} du = \frac{\sqrt{\pi}}{B} e^{-B\sqrt{x}}$$

et on retrouve pour I_x l'expression de Silberstein $I_0 e^{-Ax-B\sqrt{x}}$

En conclusion

$$(V) \quad f(\lambda) = \frac{I_0}{2\sqrt{\pi}} (\mu - A)^{-3/2} e^{-B^2/4 (\mu-A)} \frac{d\mu}{d\lambda}$$

qui est la relation cherchée permettant de construire la courbe spectrale puisque m est une fonction connue de λ

2°) *Cas particulier.* — Application au faisceau de la radiothérapie de contact (Philips)

$V = 48$ KV, filtration inhérente = 0,2 mm. Al, tension constante, à 4 cm. du foyer

$A = 1$, $B = 4$. L'équation (V) devient :

$$f(\lambda) = I_0 \cdot \frac{2}{\sqrt{\pi}} (\mu - 1)^{-3/2} e^{-4(\mu-1)} \frac{d\mu}{d\lambda}$$

Voici les résultats numériques :

λ	μ	$\frac{d\mu}{d\lambda}$	$f(\lambda)/I_0$
0,25	1		0
0,35	2,0	13,4	0,03
0,4	2,8	19,6	0,10
0,49	5,04	28,7	0,14
0,6	8,7	39	0,12
0,7	13,5	56,7	0,10
0,8	20,1	73,1	0,08
1	37,2	11,6	0,05

La courbe représentative est donnée par la figure 8. Nous nous sommes arrêtés à $\lambda \text{ I Å}$ puisque immédiatement après apparaissent les raies caractéristiques de la série L du tungstène et la formule ne s'applique plus aux crêtes représentées en pointillé.

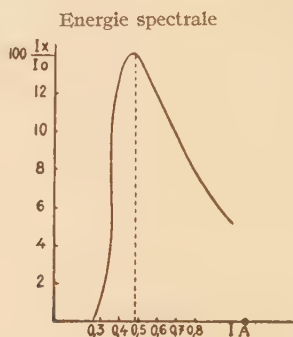


FIG. 8. — Courbe spectrale de répartition de l'énergie.
48 KV ; FP = 4 cm filtration équivalente = 0,2 mm. Al.

Les termes μ et $\frac{d\mu}{d\lambda}$ sont donnés par les tables d'absorption dans l'aluminium, ou peuvent être déduit des formules

$$\mu = \alpha + \beta \lambda^3 \quad \frac{d\mu}{d\lambda} = 3 \beta \lambda^2$$

$\alpha = 0,15$	$\beta = 14,4$	lorsque $0,1 < \lambda < 0,4 \text{ Å}$
$\alpha = 0,16$	$\beta = 14,3$	

e) MODIFICATION DE LA COURBE SPECTRALE

La courbe spectrale dépend de la distance du foyer, de l'intensité du faisceau cathodique, de la tension, de la nature de l'anticathode, de la filtration.

10) *Distance*. Dans le vide, les ordonnées sont proportionnelles à l'inverse des carrés de distances ; si nous admettons que la courbe 8 est construite à 4 cm. du foyer, si nous voulions construire pour 2 cm. il suffirait de multiplier toutes les ordonnées $\left(\frac{4}{2}\right)^2$ c'est-à-dire par 4 ; le λ_0 et λ_m ne sont pas modifiés.

2°) *Intensité du faisceau cathodique.* On peut pratiquement représenter l'intensité globale du spectre continu par la relation généralement admise :

$$I \qquad I_0 = \int_{\lambda_0}^{\infty} I_{\lambda} d\lambda = KizV^2$$

i courant traversant le tube pour la tension V apportée par les électrons cathodiques ;

Z nombre atomique de l'anticathode.

L'intensité est proportionnelle au nombre d'électrons du faisceau cathodique et les ordonnées des courbes spectrales sont dans le même rapport ; mais λ_0 et λ_m ne sont pas déplacés si le potentiel ne change pas.

3°) *Nature de l'anticathode.* L'intensité est proportionnelle au nombre atomique d'après la formule (I). C'est le tungstène qui est choisi pour de nombreuses raisons ; il a l'avantage d'augmenter l'intensité du faisceau ; cependant le tube Chaoul a une anticathode en nickel.

4°) *La tension.* La tension intervient par sa forme et sa valeur. D'après la formule (I) l'intensité est proportionnelle au carré du voltage. L'expérience montre de plus que λ_0 et λ_m se déplacent simultanément vers les petites longueurs d'ondes.

Dans le Chaoul, λ_0 et λ_m sont plus petits que dans le Philips. De même la tension constante donne pour une même intensité et un même voltage que le voltage maximum d'une tension pulsatoire, une intensité plus grande et si les λ_0 sont les mêmes, les λ_m diffèrent ; la longueur d'onde du maximum λ_m est plus petit à tension constante et par conséquent le faisceau plus homogène ; c'est le cas du tube Philips.

5°) *Filtration.* La filtration a pour effet de réduire l'intensité et par conséquent la surface de la courbe spectrale ; et si la longueur d'onde minimum λ_0 n'est pas modifiée, λ_m au contraire est diminué et se rapproche de λ_0 ; par conséquent le faisceau devient plus homogène en devenant plus dur (fig. 3).

Nous avons fait un spectre du faisceau après filtration à travers 1 mm. Al. et si nous comparons avec le spectre obtenu sans filtration supplémentaire nous voyons la disparition des raies de tungstène, le spectre est moins étalé, le faisceau plus homogène (fig. 9).

B) Répartition de l'énergie en fonction de l'épaisseur : courbes d'absorption.

Nous avons étudié précédemment la répartition de l'énergie suivant la longueur d'onde et la courbe spectrale obtenue caractérise parfaitement un faisceau donné ; mais cette étude est assez difficile pour n'être pas d'un usage courant en médecine.

Il existe une autre façon de caractériser un faisceau de rayons X par une courbe plus pratique pour le radiothérapeute : c'est le comportement d'un faisceau lorsqu'il pénètre dans la matière, c'est l'étude de l'absorption de l'intensité par la profondeur au fur et à mesure que le rayonnement avance. Outre que de telles courbes sont plus faciles à construire, elles renseignent mieux sur l'efficacité d'un faisceau sur l'organisme puisque cette efficacité est fonction uniquement de l'intensité du rayonnement.

Pour les rayonnements produits par 50 KV le corps absorbant choisi est l'aluminium à cause des avantages suivants : il ne présente pas de discontinuité d'absorption dans la plage intéressante, puisque l'aluminium par son faible numéro atomique $Z = 13$ a sa première discontinuité critique K pour $\lambda_K = 7,9 \text{ \AA}$, alors que la plage utilisée s'étend pratiquement de $0,25 \text{ \AA}$ à $2 \text{ \AA}$; c'est un corps simple qui peut actuellement être obtenu très pur et ainsi toutes les mesures sont comparables ; enfin les longueurs d'ondes molles qui sont facilement absorbées par la matière le sont moins par l'aluminium puisque $Z = 13$ que par le cuivre ($Z = 29$) et l'absorption n'est ni trop grande ni trop faible ; la mesure est sensible.

Cette courbe d'absorption dans l'aluminium dépend de la

tension de la filtration et aussi de la distance et du champ.

Nous avons fait les mesures avec 48 KV environ, à 4 cm. du foyer, et nous les illustrons par la courbe (fig. 9 (a) ;

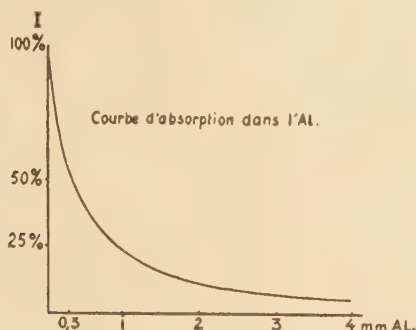


FIG. 9 (a). — Courbe d'absorption dans l'aluminium pour l'appareil Philips : 48 KV, FP = 4 cm. sans filtration supplémentaire.

en ordonnées : pourcentage de transmission de la dose
en abscisses : épaisseur d'Al. en mm.

elles sont analogues à celles de BÆSTRUP et BLATZ et LAMERTON. Nous voyons qu'un rayonnement filtré est plus pénétrant que le rayonnement non filtré et dans quelle

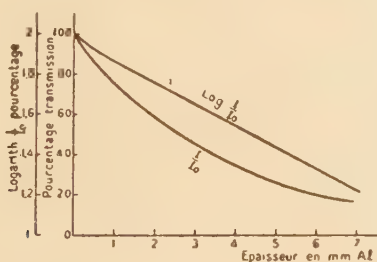


FIG. 9 (b). — Courbe d'absorption totale dans l'aluminium pour un rayonnement de 45 KV. (Tube de CHAOUI).

proportion. La fig. 9 (a) montre qu'il y a peu de modification au delà d'une filtration de 2 mm. environ d'aluminium. Toute filtration supérieure à 2 mm. n'améliorera pas prati-

quement la qualité du faisceau qui peut être considérée comme homogène à partir de cette épaisseur.

Pour l'appareil Philips le filtre supplémentaire de 2,5 mm. d'Al. représente la limite de la filtration ; une filtration supérieure n'apporterait pas une plus grande homogénéité et diminuerait inutilement la dose.

La figure 9 (b) indique l'absorption dans l'aluminium du rayonnement du tube Chaoul.

Il est inutile d'insister ici davantage sur l'absorption dans l'aluminium, puisque nous reparlerons de nouveau de l'absorption mais dans une matière qui présente au point de vue coefficient d'absorption de grandes analogies avec les tissus à traiter.

Conclusion :

La courbe spectrale, comme la courbe d'absorption dans l'aluminium caractérise complètement un faisceau au point de vue qualitatif, et à deux courbes qui se superposent correspondent deux faisceaux identiques vis-à-vis du phénomène d'absorption. Mais étant donné le grand nombre de facteurs dont dépend une courbe : valeur et forme de la tension, filtration inhérente au tube, filtration supplémentaire, distance, dimension du champ, il est très difficile en dehors de la superposition de comparer des courbes. Aussi un grand nombre d'auteurs ont essayé de représenter la qualité d'un rayonnement non pas par une courbe qu'il est très difficile de comparer à une autre courbe, mais par un nombre plus facile à mesurer.

C) Le faisceau de Rayons X est caractérisé par un nombre.

Un faisceau monochromatique peut être caractérisé rigoureusement par un nombre, que ce nombre soit celui qui exprime sa longueur d'onde λ ou son coefficient d'absorption μ dans un absorbant donné ; ou encore l'épaisseur de la C.D.A. de

matière donnée qui réduit son intensité de moitié ; mais un faisceau polychromatique sera sans doute insuffisamment précisé par un seul nombre : le polychromatisme ne s'exprime pas par un nombre mais en général par une courbe. Indiquons les différentes grandeurs qui sont utilisées pour caractériser un faisceau de radiothérapie :

1°) *Couche de demi-absorption* (C.D.A.). Pour les potentiels inférieurs à 100 VK l'aluminium est utilisé : et la couche demi-absorbante représente l'épaisseur d'aluminium qui réduit l'intensité de moitié.

Cette C.D.A. dépend pour un voltage donné, de la filtration ; elle augmente avec la filtration. Les mesures que nous avons faites portent sur des épaisseurs de 0 à 4,5 mm. Al. supplémentaires variant par dixième de millimètre. Ce sont les mêmes mesures faites au Hammer avec sa chambre d'ionisation spécialement construite pour le tube Philips que nous avons utilisée pour construire la courbe d'absorption et sur laquelle on déduit immédiatement la C.D.A.

Filtre	C.D.A.
0	0,3 mm. Al.
1	1,0 mm. Al.
2,5	1,6

Nous trouvons les mêmes nombres que LAMERTON ; BÆSTRUP pour 44 KV. donne une C.D.A. de 0,28 mm. Al.

Pour le tube de Chaoul, la C.D.A. est de 2,4 mm. d'Al. Cette différence est due non pas à la différence de tension, puisque les tensions étaient de 45 KV pour le tube de Chaoul et de 48 KV pour le Philips, mais uniquement de la filtration. Pour le tube Philips la filtration, nous l'avons vu, est insignifiante ; elle est équivalente à 0,2 mm. d'Al., tandis que pour le Chaoul la filtration inhérente fixe peut être assimilée à 0,2 mm. Cu + 1 mm. Al. soit environ 20 fois plus.

PENDERGRASS a montré que si le tube Philips est filtré avec les mêmes épaisseurs que le tube de Chaoul, c'est-à-dire si les deux tubes fonctionnent avec la même tension et avec la

même filtration, la qualité du tube Philips est meilleure puisque sa C.D.A. est de 3,8 mm. Al.

Fixer la C.D.A., c'est fixer un point sur la courbe d'absorption et évidemment ce point est insuffisant pour déterminer la courbe complètement et par conséquent préciser le rayonnement. Il est facile de concevoir en effet plusieurs faisceaux différents qui ont la même C.D.A. ; les expériences d'HOLTHUSEN l'ont montré.

L'expérience prouve, par la relation empirique de Silberstein $I_x = I_0 e^{-Ax - B/\sqrt{x}}$, que pour que la courbe soit déterminée pratiquement, tout au moins pour les longueurs d'ondes utilisées dans la radiothérapie de contact, il faut et il suffit de fixer 2 points pour préciser complètement la courbe d'absorption ; en effet cette relation contient 2 paramètres A et B à déterminer. Ce deuxième point peut être la seconde couche d'absorption (c.d.a.) c'est-à-dire celle qui réduit encore de moitié l'intensité qui vient de traverser la C.D.A.

Pour le faisceau sans filtre que nous utilisons, la c.d.a. = 0,6 mm. Al.

2°) *Degré d'homogénéité.* Soit d_1 la première couche de demi-absorption et d_2 la deuxième couche ; le degré d'homogénéité $h = \frac{d_2}{d_1}$ par définition. Pour un faisceau monochromatique $h = 1$ puisque $d_2 = d_1$, l'absorption étant représentée par une exponentielle ; au contraire pour un faisceau polychromatique $d_2 > d_1$ (figure 9 (a) et $h > 1$). Plus h se rapproche de l'unité, plus le faisceau tend vers le monochromatisme c'est-à-dire, vers l'homogénéité.

Pour le faisceau que nous utilisons $h = \frac{0,6}{0,3} = 2$.

La courbe d'absorption est donc pratiquement définie si on connaît la C.D.A. et l'homogénéité.

3°) *Longueur d'onde moyenne.* Certains auteurs ont voulu assimiler au point de vue absorption un faisceau polychroma-

tique à un faisceau monochromatique et ont calculé la longueur d'onde qui aurait la même couche de demi-absorption.

Pour un rayonnement monochromatique : $I_x = I_0 e^{-\mu x}$

$$\text{Log } \frac{I_x}{I_0} = -\mu d \quad \text{et si } \frac{I_x}{I_0} = \frac{1}{2} \quad d = \text{C.D.A. par définition}$$

$$\text{d'ou } \mu = \frac{0,693}{(\text{C.D.A.}) \text{ cm.}}$$

et on calcule la longueur d'onde, correspondant au coefficient d'absorption μ_{CDA} , elle est dite longueur d'onde moyenne.

Voici les nombres que nous avons trouvés en utilisant le tableau précédent des C.D.A. :

Filtration supplémentaire	Longueur d'onde moyenne
0	0,83 Å
1 mm. Al.	0,55 Å
2,5 mm. Al.	0,46 Å

HOLTHUSEN définit la longueur d'onde moyenne celle dont l'abscisse partage la courbe spectrale en deux parties équivalentes. Si l'une des surfaces peut être évaluée, il est impossible d'évaluer l'autre puisqu'on ne sait pas où la courbe s'arrête et que de plus la courbe risque de présenter des crêtes correspondant aux raies caractéristiques.

4°) *Longueur d'onde efficace.* DUANE cherche l'affaiblissement d'un faisceau à travers une épaisseur donnée qui est de 4 mm. d'aluminium pour les rayonnements mous ; il en déduit le coefficient d'absorption comme si c'était un faisceau monochromatique et par conséquent la longueur d'onde correspondante qu'il appelle longueur d'onde efficace.

Cette longueur d'onde efficace est égale pour notre faisceau à 0,48 Å. Cette donnée revient à fixer un point sur la courbe d'absorption.

Conclusions :

Pour caractériser la qualité d'un faisceau, on dispose ou

de courbes, ou de nombres. La courbe spectrale est difficile à construire soit par l'expérience soit par la formule empirique de SILBERSTEIN ou de JONES ; quant à la courbe d'absorption, elle est facile à construire, représente parfaitement la qualité d'un faisceau, mais on ne la trouve pas assez maniable, assez simple.

Certains auteurs rêvent de trouver une mesure idéale de la qualité d'un faisceau, mesure qui aurait la propriété inattendue de caractériser un polychromatisme par un seul nombre ; ou en d'autres termes déterminerait la courbe d'absorption au moyen d'un seul point. La multiplicité des essais montrent leurs échecs ; un seul nombre ne peut pas définir un individu en biométrie ni un faisceau en radiothérapie.

Mais si une grandeur est insuffisante, deux grandeurs suffisent pratiquement pour caractériser un faisceau. L'expérience montre que deux points (excepté le point origine évidemment) permettent pratiquement de construire la courbe d'absorption et par conséquent de déterminer complètement la qualité d'un faisceau. D'ailleurs la formule empirique de SILBERSTEIN ne contient que 2 paramètres A et B, et les calculer : c'est calculer 2 points de la courbe ; nous avons montré précédemment l'accord avec nos mesures de cette relation et comment de plus elle pouvait déterminer la courbe d'énergie spectrale c'est-à-dire représenter parfaitement un faisceau polychromatique.

Il faut donc deux grandeurs pour caractériser pratiquement un faisceau ; soit la couche de demi-absorption (C.D.A.) et la seconde couche de demi-absorption (c.d.a.), soit la C.D.A. et le degré d'homogénéité, etc... ; ou encore, comme beaucoup d'auteurs, indiquer le potentiel et la filtration totale.

En définitive, il est préférable de s'habituer à penser la qualité d'un faisceau de rayons X au moyen de 2 caractéristiques définitivement acceptées par les radiothérapeutes que d'envisager les caractéristiques imaginées successivement par tous les auteurs.

III. — DOSIMÉTRIE PRATIQUE.

Les effets biologiques dépendent de l'énergie, de la dose réellement absorbée, de la « dose tissu » ou encore appelée « dose biologique » ; mais une telle mesure rigoureuse est impossible. En effet, chaque fois que la chambre d'ionisation si petite soit-elle est mise dans la profondeur tissulaire, elle mesure uniquement *l'énergie reçue par l'air* et non par le tissu lui-même ; on dit que la dose mesurée est une dose physique. Mais cette dose physique donne des renseignements à la fois précis et comparables ; elle permet en réalité de connaître les courbes d'absorption, les courbes isodoses et d'indiquer ainsi d'une façon très satisfaisante la répartition de l'énergie non pas dans les tissus mais plutôt dans les « fantômes » qui représentent au point de vue radiologique un produit de remplacement des tissus. Ces corps ont à peu près le même nombre atomique et la même densité que les tissus, tels sont : l'eau, la paraffine ou certains produits spéciaux tels la « masonite ».

Nous ferons remarquer que toutes ces mesures faites dans les fantômes sont extrapolées aux tissus humains qui n'ont pas cette homogénéité du fantôme à cause de la diversité des tissus, peau, cartilage, os, etc... et que les résultats ne sont qu'approchés mais donnent l'ordre de grandeur.

Nous envisagerons la dosimétrie en *surface* et en *profondeur*.

A) Dosimétrie en surface.

Si nous faisons les mesures de doses dans l'air, loin de tout objet diffusant et si ensuite nous amenons sous la chambre d'ionisation la région du sujet à irradier ou tout autre corps absorbant tel que le fantôme, les mesures sont différentes et la dose mesurée alors est supérieure à la dose précédente dans l'air à cause de la diffusion en retour.

Cette diffusion des photons est double ; diffusion simple sans changement de longueur d'onde et diffusion avec augmen-

tation de la longueur d'onde due à l'effet Compton. Pour les longueurs d'ondes de la radiothérapie de contact comprises entre 0,25 Å et 0,5 Å, l'effet Compton est négligeable et la diffusion simple seule intervient.

10) MESURE DU RAYONNEMENT DIFFUSÉ EN RETOUR.

Soit N le nombre d'« r » débitées pendant le temps t dans l'air et ensuite N' le nombre d'r débitées pendant le même temps : la différence N' — N fait connaître le rayonnement diffusé, et le pourcentage du rayonnement diffusé en retour par rapport au rayonnement dans l'air sera :

$$\frac{N' - N}{N} \cdot 100$$

Indiquons rapidement les facteurs qui modifient le rayonnement diffusé : épaisseur de la surface absorbante, qualité de rayonnement, dimension du champ, position de point sur la surface irradiée.

a) Influence de l'épaisseur de la surface absorbante.

Pour un même rayonnement et une même porte d'entrée, le rayonnement diffusé augmente avec l'épaisseur jusqu'à une certaine limite. Par exemple, QUIMBY donne pour un rayonnement à faible voltage dont la C.D.A. est 1 mm. Al., ce serait à peu près le rayonnement du tube Philips avec une filtration de 1 mm. Al. :

Épaisseur de matières sous-jacentes en cm.	Pourcentage du rayonnement diffusé (surface irradiée 5 cm. 2)
1	104
2	107
4	110
6	111

au-delà de 6 cm. le taux n'augmente plus. Pour le tube de Chaoul dont la C.D.A. = 2,4 mm, Al, les nombres seraient à peu près les mêmes.

b) *Influence de la surface d'entrée.*

Plus le faisceau est large, plus la diffusion est grande jusqu'à une certaine limite.

Pour la radiothérapie de contact les portes d'entrée sont pratiquement de quelques centimètres carrés tandis que pour la radiothérapie profonde elles peuvent atteindre 500 cm² et un rayonnement diffusé de 145 %.

c) *Influence du point choisi sur la surface irradiée.*

Dans tout ce qui précède nous supposons la chambre placée au centre de la surface irradiée, normalement aux rayons ; mais si nous déplaçons la chambre d'ionisation perpendicu-

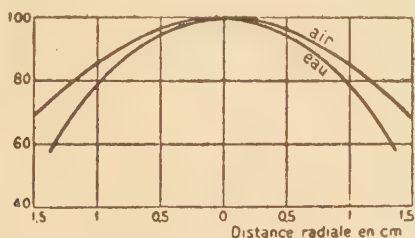


FIG. 10. — Variation de la dose en surface à mesure que l'on s'écarte du rayon central.

lairement au rayon central, le rayonnement à la surface diminue. Cette diminution est due à la fois à la diminution de l'énergie incidente suivant la loi de l'inverse du carré de la distance et à la diminution des atomes diffusants sur les bords du champ.

Si nous considérons des champs circulaires, comme ceux que nous utilisons dans les traitements, les courbes isodoses sont circulaires par symétrie et correspondront à des doses dans le rapport de $\frac{d^2}{d^2 + x^2}$ d la plus courte distance focus-peau et x la distance du point considéré au centre o du champ.

La figure 10 donne les résultats expérimentaux pour l'eau et pour l'air. Pour la radiothérapie de contact cette diminution est par conséquent très rapide et nous avons insisté déjà sur

cette notion fondamentale que, pour obtenir une irradiation homogène au point de vue quantitatif, il faut irradier des faibles volumes ou bien user de certains dispositifs pour répartir uniformément la dose (voir p. 127).

La dose enregistrée dépend aussi dans une faible mesure de l'écartement du foyer ainsi que de la qualité du rayonnement, mais en radiothérapie de contact les tensions sont comprises entre 45 et 60 kv. et les différences ne sont pas très grandes.

CONCLUSIONS : Pour la radiothérapie de contact au centre du faisceau la dose en surface est très peu supérieure à la dose dans l'air puisqu'on utilise de très faibles volumes et un rayonnement mou, tandis que la dose en des points situés loin du centre diminue très rapidement ; beaucoup plus vite que pour la radiothérapie profonde.

B) Dosimétrie en profondeur.

Nous indiquerons la répartition de la dose le long de l'axe du faisceau et ensuite dans tout le volume irradié du fantôme et les doses seront représentées en pour cent de la dose en surface. Les doses en profondeur comme les doses en surface dépendent de la distance foyer-peau, de la qualité du rayonnement et de la porte d'entrée.

1^o) RÉPARTITION DE LA DOSE LE LONG DE L'AXE DU FAISCEAU INCIDENT.

a) Rôle de la distance focus-peau.

Nous avons assez insisté sur le rôle fondamental de la distance FP. dans la distribution de l'énergie et expliqué en détail la loi de l'inverse du carré de la distance. Pour les courtes distances utilisées dans la radiothérapie de contact, les variations de la dose en profondeur sont très rapides dans les premiers centimètres. Nous indiquons les résultats pour le tube de Chaoul (fig. 11 d) et le tube de Philips (fig. 11 a, b, c), les mesures étant faites pour chaque appareil dans les mêmes conditions de filtration. Nous donnons aussi les résultats de VAN DER PLAATS (tableau I).

TABLEAU I

d'après VAN DER PLAATS

TENSION 50 KV — DISTANCE F.P. 2 cm.						
Champ I = 80 mm ² de surface						
Champ II = 500 mm ² de surface						
RAYONNEMENT A 8.000 r/min.			RAYONNEMENT B 1.560 r/min.		RAYONNEMENT C 600 r/min.	
Filtre fixe : 0,2 Al			Filtre fixe : 0,2 Al		Filtre fixe : 0,2 Al	
Filtre suppl. : 0			Filtre suppl. : 1		Filtre suppl. : 2,5 Al	
Filtre total : 0,2 Al			Filtre total : 1,2 Al		Filtre total : 2,7 Al	
Prof. en cm.	Pourcentage de la dose		Pourcentage de la dose		Pourcentage de la dose	
	I	II	I	II	I	II
0	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
1	19	22,5	31	34	34,5	39,8
2	6,4	7,8	12	13,9	14,5	17
3	2,6	3	5,3	6,1	6,5	7,5
4	1,3	1,5	2,7	3,1	3,4	3,9

TENSION 50 KV — DISTANCE F.P. 4 cm.						
Champ I = 80 mm ² de surface						
Champ II = 500 mm ² de surface						
RAYONNEMENT D 2.000 r/min.			RAYONNEMENT E 390 r/min.		RAYONNEMENT F 165 r/min.	
Filtre fixe : 0,2 Al			Filtre fixe : 0,2 Al		Filtre fixe : 0,2 Al	
Filtre suppl. : 0			Filtre suppl. : 1		Filtre suppl. : 2,5 Al	
Filtre total : 0,2 Al			Filtre total : 1,2 Al		Filtre total : 2,7 Al	
Prof. en cm.	Pourcentage de la dose		Pourcentage de la dose		Pourcentage de la dose	
	I	II	I	II	I	II
0	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
1	32	36,8	45	51,7	49	56,5
2	13,5	15,6	24	27,5	28	32,2
3	6,5	7,5	17,5	14,4	16	18,4
4	3,5	4	7	8,1	9,6	11,8

FIG. 11(a). — Dose en profondeur dans l'eau le long de l'axe du faisceau sans filtration.

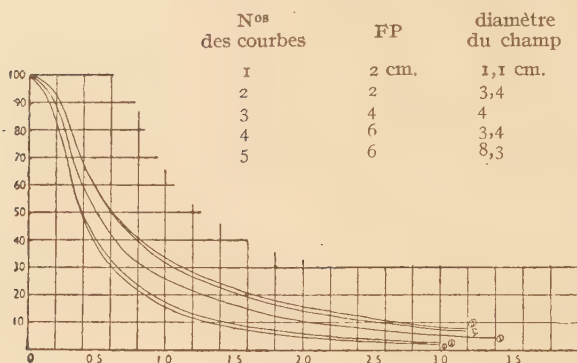


FIG. 11(b) Dose en profondeur dans l'eau le long de l'axe du faisceau avec le filtre de 1 mm. Al.

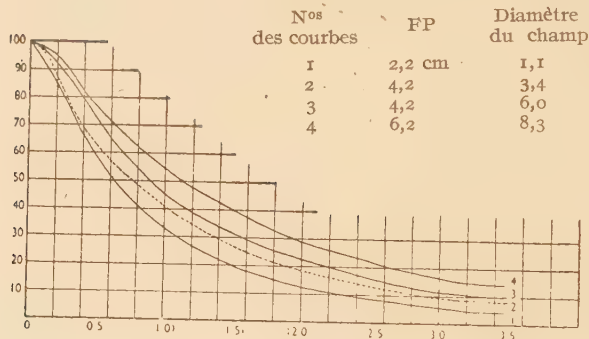
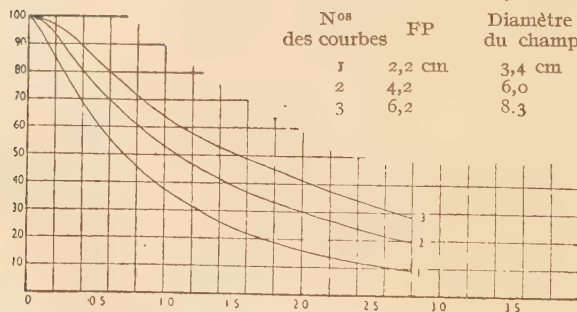


FIG. 11(c). — Dose en profondeur dans l'eau le long de l'axe central avec filtre de 2,5 mm. Al.



b) *Rôle de la qualité du rayonnement.*

La qualité dépend pour les appareils de radiothérapie qui ont tous l'anticathode en tungstène, de la tension et de la filtration ; nous avons assez précisé le rôle du bas-voltage et de la filtration pour ne donner ici que les résultats expérimentaux.

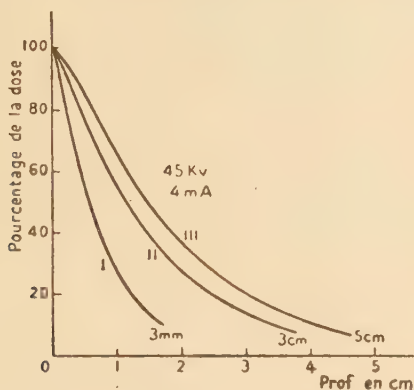


FIG. 11 (d). — Courbes d'absorption dans l'eau pour tube de CHAOUL.

Courbe I — distance focus peau — surface de l'eau = 3 mm.
 » II — » » — » » = 3 cm.
 » III — » » — » » = 5 cm.

taux représentés par les courbes (fig. 11). Plus le rayonnement est dur, plus il est pénétrant ; la dose décroît d'autant plus rapidement que les radiations sont plus molles. La diminution du voltage et de la filtration agit dans le même sens : énergie maximum absorbée par le premier centimètre.

c) *Rôle de la dimension de la porte d'entrée.*

La dose en profondeur augmente avec la porte d'entrée puisque la diffusion est plus grande. Pour la radiothérapie de contact les surfaces des localisateurs sont petites en général et les variations sont faibles puisque le rayonnement est peu pénétrant. Par exemple le tableau de VAN DER PLAATS permet de se rendre compte des différences pour chaque rayonne-

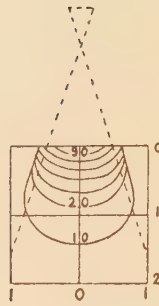


FIG. 12 (a). — Courbes isodoses $FP = 2$ cm.
sans filtre (localisateur circulaire $d = 1$ cm.)

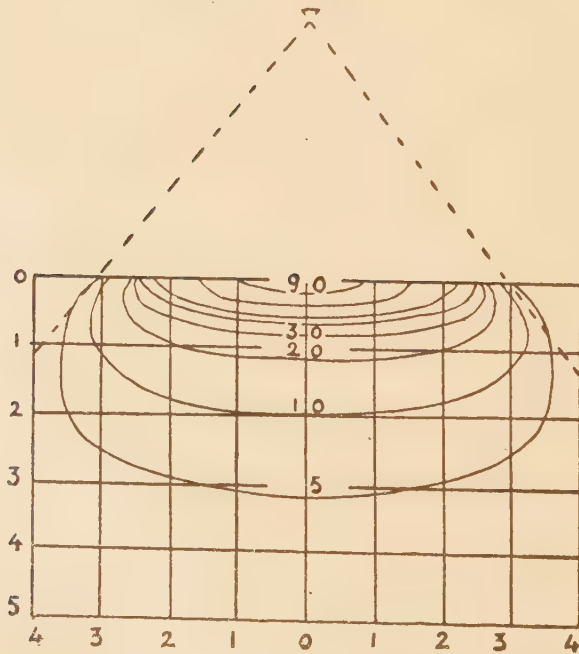


FIG. 12 (b). — Courbes isodoses $FP = 4$ cm.
sans filtre (sans localisateur).

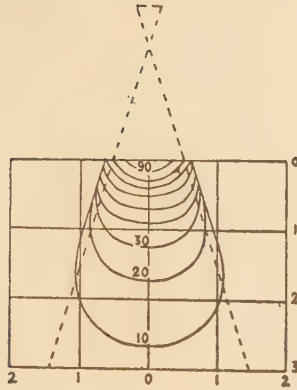


FIG. 12 (c). — Courbes isodoses $FP = 2,2$
filtre = 2,5 mm. Al. (localisateur circulaire $d = 1$ cm.)

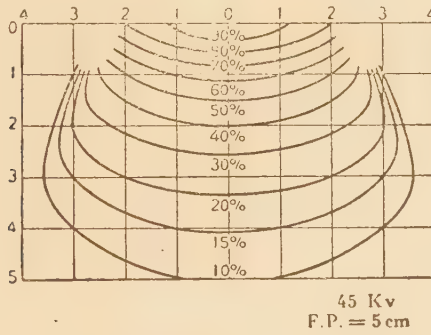


FIG. 12 (d). — Courbes pour un tube de CHAOUI,
dont le foyer est à 5 cm. de la surface.

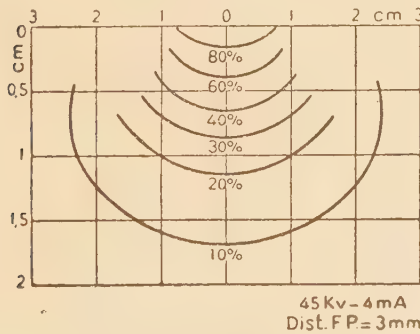


FIG. 12 (e). — Courbes isodôses dans le fantôme
pour un tube de CHAOUI, dont le foyer est à
3 mm. de la surface.

ment A, B, C, D, E, F, entre la dose en profondeur pour un champ de 80mm^2 de surface et la dose pour un champ de 500mm^2 , c'est-à-dire plus de 6 fois plus grand.

De même les courbes 1 et 2 de la figure 11 (a) ; 2 et 3 de la figure 11 (b) permettent de voir qu'il existe des variations avec la surface du localisateur, mais que ces variations sont faibles, comparées aux différences enregistrées pour les grands champs de la radiothérapie profonde.

2°) RÉPARTITION DE LA DOSE DANS LA TOTALITÉ DU VOLUME IRRADIÉ.

Lorsque le localisateur est circulaire et centré sur l'axe du faisceau central, les surfaces isodoses sont de révolution autour de cet axe. Il suffit alors pour connaître la répartition spaciales de construire la méridienne de chacune de ces surfaces c'est-à-dire la courbe isodose dans un plan passant par l'axe de symétrie. La forme générale de ces courbes et de ces surfaces peut être prévue théoriquement, mais sur les bords du faisceau, la diffusion les déforme. Nous donnons quelques exemples de ces courbes, construites par L.F. LAMERTON avec l'appareil Philips fig. 12 (a, b, c) ainsi que les courbes isodoses du tube Chaoul 12 (d,e).

CHAPITRE III

ETUDE DES APPAREILS

La radiothérapie de contact exige un appareillage très spécial ; l'originalité des appareils porte sur le tube. Nous décrivons les deux modèles : celui de Chaoul, qui est le plus ancien exécuté par les Etablissements Siemens, et l'appareil Philips, sur lequel nous avons fait notre étude et que nous examinerons plus en détail ; ensuite nous comparerons les deux tubes.

DESCRIPTION ET CARACTÉRISTIQUES.

A) Tube de Chaoul (Siemens).

Ce tube est représenté par la fig. 13. Le tube T proprement dit est enfermé dans un manchon en porcelaine qui le protège contre la haute tension et les rayons diffusés. La cathode est alimenté par un courant de haute tension amené sous câble à grand isolement (Shokproof). Le faisceau cathodique, qui est dirigé à travers un tube creux soudé au verre du tube, pénètre jusqu'au fond où il frappe l'extrémité qui l'obture, extrémité qui joue le rôle d'anticathode. Par conséquent, les rayons sont émis par transmission. A cette extrémité est ajoutée un localisateur qui vient s'appliquer sur la peau.

Le tube métallique creux et son extrémité anticathodique sont à la terre et sont refroidis par circulation d'eau dans une chemise entourant le tube. Le faisceau de rayon X traverse donc outre l'anticathode la couche d'eau de refroidissement et la mince lame de la chemise. L'anticathode est en nickel. L'appareil comprend une série de localisateurs interchangeables de formes et de dimensions variables. Le tube est monté sur un pied articulé qui permet selon le traitement de modifier l'orientation.

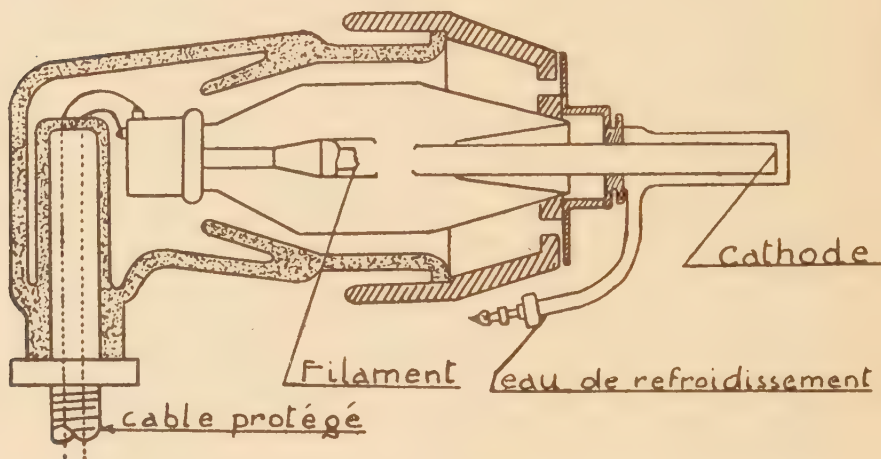


FIG. 13. — Tube CHAOUT, — Siemens.

Les caractéristiques ont déjà été données à l'étude physique ; la filtration inhérente, due à la traversée de l'anticathode, de l'eau et de la chemise, équivaut à 0,2 mm. nickel ou 4 mm. Al. La plus petite distance focus-peau que l'on pourrait atteindre est de trois mm. ; distance qui sépare l'anticathode de l'extrémité de la chemise. Mais la fragilité de cette fenêtre ne permet pas de l'appliquer contre la peau et en général les traitements se font à 4 ou 5 cm. de l'anticathode.

B) Tube Philips (Métalix).

Le tube est inspiré des premiers tubes Philips pour radiographie. Nous donnons un schéma (fig. 14).

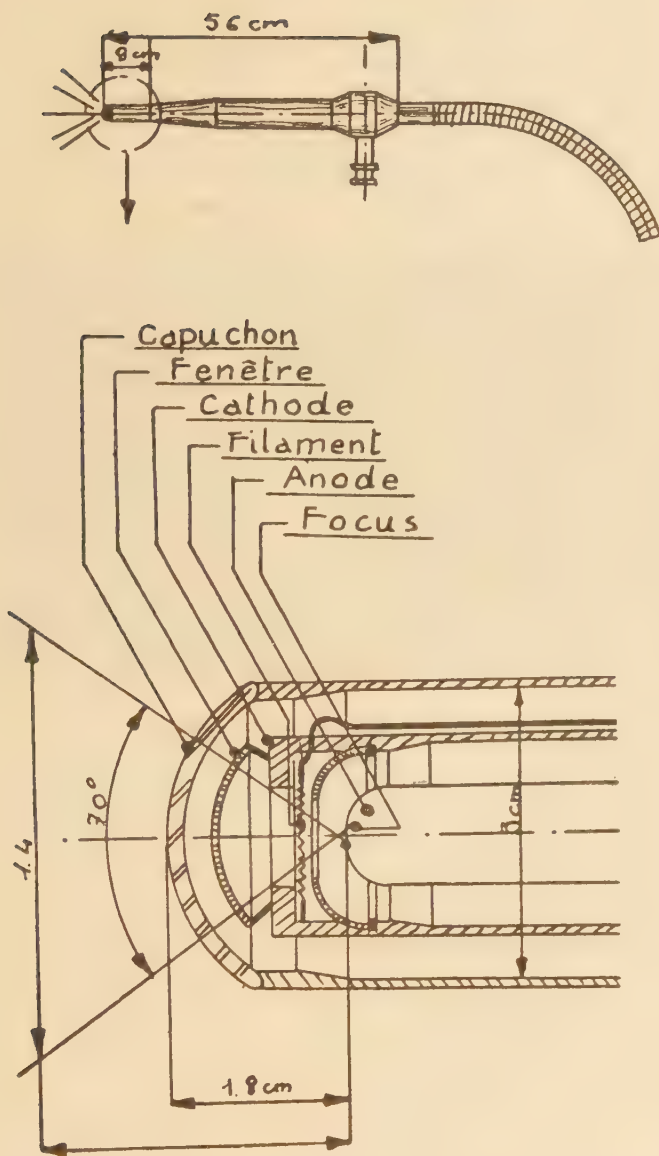


FIG. 14. — Tube Philips.

L'anticathode-anode est portée à un potentiel positif élevé. Le filament cathodique, placé en avant, est au sol par une de ses extrémités de telle sorte qu'il se trouve entre l'anticathode et la fenêtre de sortie ; celle-ci est constituée par un verre transparent aux rayons X. Entre le filament et la fenêtre se trouve une sorte de diaphragme qui limite l'ouverture du faisceau X



FIG. 15. — Photographie du Foyer :
(L'image d'une grille interposée entre le filament et l'extrémité se superpose à l'image du foyer).

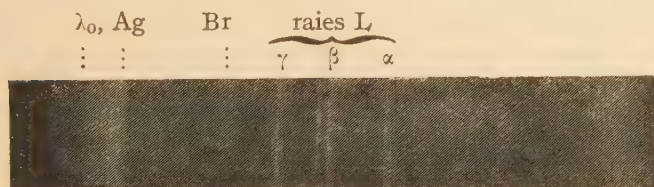
à 70 °. L'extrémité du tube est recouverte par une gaine terminée en avant par un capuchon fait en matière légère spéciale, transparente aux rayons X appelée « philitte ». Entre le tube et le capuchon circule un courant d'air qui a pour but de refroidir. Le tube est très maniable et peut prendre facilement toutes les positions.

Nous rappelons les caractéristiques principales :

- la filtration inhérente est très faible équivalente à 0,2 mm. Al ;
- sa tension constante est d'environ 50 KV ; son intensité de 2 mm. A ;
- sans filtre surajouté la C.D.A. = 0,3 mm. Al.

Forme, dimension, situation du foyer.

Nous avons, au moyen d'un trou d'épingle dans une lame de plomb et en posant une minute, photographié l'image du foyer anode-anticathode. Cette photographie montre une aire centrale irrégulière (fig. 15), les irrégularités sont dues à la fois au filament et au support de la cathode ; on voit même une légère trace extérieure d'un foyer secondaire.



$\lambda_0 = 0,25 \text{ \AA}$

FIG. 16 (a). — Spectre de l'anticathode de tungstène de l'appareil Philips sous la tension de 48 K.V sans filtration supplémentaire.



$\lambda_0 = 0,25 \text{ \AA}$

FIG. 16 (b). — Spectre de l'anticathode de tungstène de l'appareil Philips sous tension de 48 K.V avec une filtration supplémentaire de 1 mm. Al. Le spectre est moins étendu et les raies L caractéristiques ont disparues mais le λ_0 ne s'est pas déplacé.

En prenant deux images à la même distance du foyer ; l'une de dimension donnée par le trou de l'épingle appliqué contre le capuchon de philitte, l'autre en plaçant le trou d'épingle à une distance de 2 cm. de cette extrémité, on peut en déduire la situation de foyer par rapport à l'extrémité du tube ainsi

que sa dimension. Il suffit de résoudre les triangles appropriés et on trouve les résultats :

distance focus-peau (minimum) = 1,9 cm.

dimension du foyer : 2 mm².

Spectres. — Nous avons étalé les spectres avant et après filtration (fig. 16).

Rapport entre l'énergie du faisceau cathodique et l'énergie émise sous forme de rayonnement X.

Soit E_c énergie du faisceau cathodique et E_x celle du faisceau X ; d'après BÉATTY le rapport : $\frac{E_x}{E_c} = KZY$

V potentiel accélérateur du faisceau cathodique exprimé en volts

Z numéro atomique = égal à 74 puisqu'on utilise le tungstène

K constante = $1,1 \times 10^{-9}$

Pour la radiothérapie de contact $V = 50.000$? $\frac{E_c}{E_x} = 0,004$.

Evidemment c'est une très faible partie de l'énergie qui apparaît sous forme de rayons X. Le reste apparaît sous forme de chaleur, chaleur qui doit être éliminée constamment soit par un courant d'air comme dans le Philips, soit par un courant d'eau comme dans le Chaoul.

Mesures de débit :

Voici les résultats des mesures effectuées sur le tube Philips que nous utilisons :

Rayonnement A = 8.000 r/m	Rayonnement D = 2.000 r/m
» B = 1.600 r/m	» E = 400 r/m
» C = 700 r/m	» F = 180 r/m

Cas particuliers :

1^o — Avec doigtier en caoutchouc il existe une différence de 100 r pour le rayonnement A.

2° — Lorsque l'ampèremètre augmente de 0,5 mm.A le débit, sans filtre, augmente de 2.000 r/m ; (l'intensité du courant est proportionnelle au débit).

C) Comparaison du tube de Chaoul et du tube Philips.

a) *Point de vue quantitatif*

En utilisant les données fournies par PENDERGRASS pour le tube de Chaoul et en supposant les tubes fonctionnant sous le même voltage et des intensités de 2 mm. A pour le Philips et 4 mm. A pour le Chaoul (donc le double de Philips), nous observons que c'est ce tube Philips qui est 25 fois plus puissant à une même distance. Cette différence dans le débit est due à la différence de filtration inhérente puisque celle-ci est équivalente à 0,2 mm. Al pour Philips tandis que pour le Chaoul elle est équivalente à 0,2 mm. Cu + 1,2 mm. Al.

Donc, les deux tubes travaillant sous la même tension sans filtration surajoutée, c'est l'appareil Philips qui est 25 fois plus puissant que l'appareil Chaoul quoique celui-ci fonctionne avec une intensité de filament 2 fois plus grande. Mais si nous égalisons les filtrations, c'est-à-dire si nous ajoutons au Philips 0,2 mm. Cu + 1 mm. Al, l'émission est à peu près la même.

b) *Point de vue qualitatif.*

Sans ce filtre surajouté, la C.D.A. du Philips est 0,3 mm. Al tandis que celle de Chaoul est 2,4 mm. Al. Mais si nous égalisons les filtrations, la C.D.A. de Philips devient 3,8 mm. Al, donc le faisceau de Philips est plus homogène à filtration égale, que celui de Chaoul.

CHAPITRE IV

ETUDE BIOLOGIQUE

Nous n'avons pas l'intention d'envisager cette étude en détail, mais de préciser certaines notions et de montrer s'il existe une différence entre l'action des rayons X de l'appareil de contact et l'action des rayons X en général.

Pour nous, la radiobiologie est basée sur un double indéterminisme ; l'un appartenant à l'action des radiations, l'autre appartenant à la réaction de l'organisme.

1) Probabilité dans l'action du rayonnement.

Sans préciser exactement le mode d'action des rayons X et leur cause efficiente : si c'est le photon, l'électron, l'ion ou même l'énergie, nous savons que les radiations, l'énergie, la matière sont de nature discontinue. Cette notion du quantum d'action est fondamentale dans la physique moderne, ainsi que l'indéterminisme qui accompagne ce quantum d'action, dont le nombre est infiniment grand. Nous ignorons où se fera exactement sentir l'action d'un quantum déterminé, mais nous connaissons leur répartition statistique. De chaque quantum nous ne connaissons que sa probabilité, de tous les quanta nous connaissons la certitude. Ainsi dans un tissu ce sera tantôt la cellule, tantôt l'exoplasme, tantôt les humeurs qui recevront cette action efficace et qui la recevront dans une région sans

doute infiniment petite. De même dans la cellule la distribution de l'action radiante se fera au hasard des rencontres et atteindra un organite quelconque : protoplasme, noyau, centrosome, gène, etc... élément jouant un rôle spécial dans la cellule,

II) Probabilité dans la réaction de l'individu.

La nature vivante : cellule, tissu, organe, organisme, réagit à cette introduction de photons ou d'ondes, éléments étrangers à son milieu intérieur (antixhénisme de Grasset). Parmi ces réactions, certaines sont perceptibles ; ce sont les effets étudiés. Mais puisque les atteintes de la cellule par les radiations sont soumises au hasard, les manifestations observées seront elles aussi soumises aux lois de hasard. En un mot l'indéterminisme dans les causes entraîne l'indéterminisme dans les effets.

Mais cet indéterminisme des réactions est-il dû uniquement au hasard des actions röntgésiennes ? Est-ce que des cellules qui reçoivent la même action dans la même région réagiront de la même façon ? Si des cellules présentent le même effet perceptible, doit-on en déduire qu'elles ont reçu la même cause efficiente des radiations ? Evidemment non. Ce serait méconnaître la notion du terrain, la variation individuelle qui est à la biologie ce qu'est la notion de discontinuité à la physique ; principes qui ont pour conséquence l'introduction des probabilités en physique et en biologie.

Tout le monde est unanime à reconnaître que des individus appartenant à des colonies biologiques différentes, à des tissus différents, ne réagissent pas de la même façon à un même agent causal : des paramecies, des cellules épithéliales, nerveuses, ne se comportent pas de la même façon pour une même irradiation, puisque leur morphologie et leur physiologie sont différentes. Mais la notion du terrain doit être étendue aux individus d'une même colonie, d'un même tissu ; cette variation individuelle peut être plus ou moins importante selon les sélections naturelles ou artificielles, mais elle existe quand même et il est impossible d'admettre a priori l'identité biologique.

La variation individuelle est évidente pour les êtres multicellulaires : des enfants issus de mêmes parents, d'âge voisin, de même sexe, vivant dans le même milieu, réagissent différemment à une même maladie. Aux différences extérieures que nous voyons, correspondent peut-être des différences internes que nous ne pouvons pas déceler. De même pour les êtres infiniment petits, monocellulaires ou autres, nous devons admettre, jusqu'à preuve évidente du contraire, une variation individuelle, même si nos moyens d'investigation ne nous permettent pas encore d'apprécier les nuances de l'individualité.

Peut-être les virus cristallisés, comme celui de la mosaïque de tabac, qui est l'être vivant apparemment le plus simple, sera-t-il un exemple d'identité biologique rigoureuse, à moins qu'il éloigne encore cette notion.

D'ailleurs, pourquoi discuter la variation individuelle, la notion du terrain pour plusieurs individus semblables alors qu'un même individu n'est pas identique à lui-même et son individualité est une fonction du temps comme pour tout ce qui est, objet inanimé ou être vivant. En particulier au moment de la division cellulaire l'identité disparaît ; à d'autres moments elle peut faire bien des maladies.

En conclusion : d'une part la physique nous apprend la discontinuité et l'indéterminisme d'un rayonnement, d'autre part la biologie nous apprend l'indéterminisme dans la réaction des individus, c'est-à-dire la « spécificité » aussi bien de la colonie que de l'individu à un moment donné. Il semble donc que la radiobiologie soit basée sur un double indéterminisme physique et biologique.

L'implacable expérience nous dira un jour si de telles théories s'appliquent à la réalité, c'est-à-dire si elles sont commodes pour rendre compte des phénomènes observés, ou pour prévoir d'autres expériences, ou bien s'il faut modifier la notion du photon ou de l'individu.

Nous envisagerons rapidement :

- I { l'action sur la cellule vivante et la radiosensibilité
 cellulaire,
 l'action sur les tissus ou les organes et la radiosensibilité
 cellulaire,
 l'action sur l'organisme ;
 - II le rôle de l'intensité, de la longueur d'onde et du temps
 de l'irradiation ;
 - III les théories radiobiologiques.
-

I. — ACTION SUR LA CELLULE, LES TISSUS, L'ORGANISME.

A) Action sur la cellule vivante.

Les rayons X n'ont pas sur la cellule une action très différente de celles des autres radiations, des agents physiques ou chimiques, et les principaux effets observés peuvent se classer de la façon suivante : destruction totale de la cellule c'est-à-dire mort immédiate ou différée ; ou destruction partielle pouvant être définitive ou réparable.

a) DESTRUCTION DE TOUTES LES FONCTIONS : MORT.

D'après ce que nous avons dit, la cellule peut recevoir une atteinte d'un grand nombre de photons dans les régions vitales, telles que le chondriome, la chromatine et la destruction de ces organites entraîne la mort. Le mode de nécrobiose dépend de la variété cellulaire et non pas du rayonnement. L'irradiation ne « montre pas au microscope » une dégénérescence différente de celle due à toute autre cause ; les mêmes altérations sont visibles.

Dans la mort immédiate, souvent observée dans la radiothérapie de contact, les types les plus fréquents sont la nécrose

de coagulation et la nécrose de liquéfaction. Nous avons observé au bout de 10 minutes après une irradiation cutanée de 6.000 r, la pycnose c'est-à-dire la densification de la chromatine et la caryorrhexie, c'est-à-dire la fragmentation de cette chromatine, phénomènes avant-coureurs de la liquéfaction qui s'opère en quelques heures.

Mais la mort peut être différée ; la cellule fait une maladie mortelle qui dure quelques jours et qui est souvent la conséquence d'une destruction fonctionnelle.

b) DESTRUCTION D'UNE FONCTION CELLULAIRE.

Fonction de nutrition. — L'étude sur le métabolisme des diverses substances est très difficile et aucune conclusion bien nette en découle ; mais il semble plutôt qu'il existe un ralentissement. La croissance elle-même est ralentie.

Fonction de relation. — Certains mouvements sont arrêtés tels les mouvements de certains flagellés ou comme nous l'avons observé nous-mêmes de certaines paramecies ; d'autres auteurs (LACASSAGNE, JOLLY, BERGONIÉ) n'ont pu réussir à suspendre les mouvements des cils vibratiles, d'œsophage de grenouille ou des spermatozoïdes, des leucocytes humains.

Fonction de reproduction. — Cette fonction semble la plus atteinte par les rayons X peut-être parce qu'elle est la plus facile à étudier. La destruction du centrosome a pour conséquence la suppression de toute division cellulaire. Si c'est la chromatine, la caryocinèse se fait anormalement ; le rythme de la division peut être troublé, être incomplet, ou bien s'il existe de fines lésions portant sur un point particulier du chromosome, ce sont alors des malformations héréditaires que l'on observe. L'atteinte d'un gène entraîne une radiomutation et crée de nouvelles races.

c) RADIOSENSIBILITÉ CELLULAIRE.

C'est la première fois que nous employons le mot de radiosensibilité cellulaire. Nous pourrions dire pour la radio-

sensibilité à peu près ce que disait saint Augustin du « temps » : « Lorsqu'on ne me demande pas de le définir, j'ai l'impression de pouvoir le faire aisément ; mais lorsqu'on me le demande et que je m'y efforce, je ne le puis plus ».

Si je n'ai pas trouvé de définition au cours de mes lectures j'ai par contre rencontré bien souvent le mot dont tout le monde use et abuse. Une science est une langue bien faite ; il faut donc en radiobiologie donner d'abord des définitions qui soient acceptées par tous. Nous avons vu que les auteurs ne s'étaient pas mis d'accord pour définir d'une manière précise et unique un rayonnement ; aussi la lecture des mémoires est-elle difficile, les expériences peu comparables, les interprétations souvent erronées.

Pour la radiosensibilité cellulaire on n'a même pas essayé. Pourquoi ? La comparaison que j'ai bien souvent prise et qui n'a d'autre mérite que sa commodité pour exprimer ma pensée va orienter notre explication : imaginons quelques animaux, par exemple un rat immobilisé dans le rectangle de dispersion d'un tir et comptons le nombre de coups de canon nécessaires pour le tuer, soit 25 ; imaginons maintenant un autre rat de même espèce, placé à son tour dans le rectangle de dispersion, un seul coup pourra le tuer ; certains diront que le second rat est 25 fois plus sensible que le premier ! La dose létale n'a pas de signification pas plus pour tuer les rats avec les obus que les cellules avec les photons. Il est difficile par conséquent de dire que tel germe ou telle cellule sera tuée avec telle dose.

Ce que nous avons dit au début de ce chapitre, nous fait comprendre les écarts considérables entre les doses mortelles qui sont observées pour une même espèce cellulaire. L'occasion nous l'a montré avec les paramécies ; les doses létales pour tuer « une cellule » varient de 50.000 r à 100.000 r avec l'appareil Philips.

Si au lieu de rechercher une dose mortelle, on veut préciser la dose nécessaire pour obtenir un effet cellulaire visible quelconque arrêt du mouvement ou de la division cellulaire, les résultats sont évidemment, pour la même raison, infidèles et

décevants. Puisque le hasard intervient, il faut utiliser les probabilités et expérimenter sur un grand nombre de cellules. S'il faut pour tuer les cellules d'une même espèce des doses extrêmement variables, par contre le pourcentage d'un grand nombre de ces mêmes cellules atteintes mortellement peut être déterminé rigoureusement. Par conséquent au lieu d'indiquer la radiosensibilité d'une espèce par la dose léthale, nombre qui n'a pas de signification, nous construirons une courbe, courbe léthale appelée encore **courbe de mortalité** qui représentera pour chaque dose donnée dans le même temps le pourcentage d'individus tués. Au lieu de prendre la mort de la cellule, l'étude d'un test biologique peut être envisagée et chaque fois on construit la courbe correspondante en portant en abscisse les doses et en ordonnées le pourcentage des individus présentant le critère choisi, la réaction étudiée.

Si au lieu de porter en ordonnées le pourcentage d'individus tués ou présentant le test biologique choisi on porte le pourcentage d'individus vivants ou ne présentant pas encore le test ; la courbe obtenue est en faisant pour les ordonnées la différence entre 100 et les ordonnées des courbes précédentes ; elles sont alors appelées **courbes de survivance**.

Ces courbes de mortalité ou de survivance caractérisent complètement la réaction d'une colonne biologique d'individus semblables ; elles sont dites **courbes caractéristiques**. Leur forme étant celle d'un S, elles sont appelées aussi **courbes sigmoïdes**.

De telles courbes, représentant l'analyse numérique, portent sur un grand nombre d'observations d'individus le plus possible semblables et irradiés dans les mêmes conditions de temps ; ici nous supposons la dose donnée dans un temps très court. La forme de la courbe, en particulier la pente, dépend de l'espèce biologique, de l'effet pris pour test et de la répartition de la dose dans le temps. Toutes ces courbes rendent compte des deux faits que nous avons laissé prévoir au début de ce chapitre : d'abord que plus la dose est élevée plus un grand nombre de cellules sont atteintes et ensuite que même pour une dose très faible certaines cellules, en très petit nombre

sans doute, réagiront. Quant à la forme générale de la courbe, puisqu'elle exprime par des statistiques l'indéterminisme de l'action des photons sur les cellules, elles doit se retrouver dans les faits qui obéissent eux aussi au hasard et ne peuvent être étudiés que par les probabilités.

Rappelons ici deux exemples très différents de courbes sigmoïdes : l'action de la digitaline sur les chats (Clark) et la répartition des tailles dans un ensemble homogène d'individus (25.000 conscrits américains) et nous pourrions ajouter un grand nombre de phénomènes : dispersion du tir, accidents de travail, expériences de psychométrie, etc...

Une telle courbe a été mise en évidence pour la première fois par Galton. Nous reviendrons très rapidement sur ces questions aux paragraphes des interprétations théoriques.

Terminons en disant que pour caractériser parfaitement une certaine réaction des cellules de même espèce à l'action des rayons X ou d'ailleurs de tout autre agent, énergie ou matière, il est indispensable de construire la courbe dite caractéristique ou de Galton. Un nombre ne peut pas suffire à déterminer cette courbe ; mais en général deux ou trois points (et nous verrons pourquoi) sont nécessaires et quelquefois suffisants pour préciser cette courbe et par conséquent déterminer la radiosensibilité cellulaire. Ces deux points pourront être par exemple la dose correspondante de l'effet obtenu sur 50 % des individus et la dose correspondant au 75 % d'individu atteint ; on peut prendre aussi un point de la courbe et la tangente en ce point. Nous ne pouvons pas comparer ce que nous avons dit dans l'étude physique sur la caractéristique d'un faisceau de rayons X et ce que nous venons de voir sur la radiosensibilité cellulaire.

En effet, un faisceau de rayons X peut être déterminé soit par une courbe (la courbe spectrale d'énergie ou la courbe d'absorption dans un milieu donné) soit par un groupe de 2 nombres (CDA et cda, etc. qui fixent 2 points de ces courbes).

De même la radiosensibilité cellulaire peut être déterminée soit par une courbe (la courbe en cloche de Gauss ou la courbe de survivance de Galton) soit par un groupe de deux nombres

(qui fixent en définitive 2 points sur les courbes) comme dans les théories actuelles ou de 3 grandeurs comme dans la théorie que j'ai indiquée.

B) Action des rayons X sur les tissus et les organes.

Ce qui distingue les cellules d'un même tissu des individus d'une même colonie, c'est la notion de solidarité, d'interdépendance biologique. Les êtres unicellulaires d'une colonie homogène, plus ou moins éloignés les uns des autres, sont dans l'ensemble à peu près indépendants tout au moins pendant un certain temps ; au contraire les cellules d'un même tissu et plus généralement d'un organisme sont rendus solidaires par des processus humoraux et nerveux ; à la réaction spécifique à chaque cellule s'ajoute une réaction secondaire de tissu, de l'organe et même de l'organisme. De plus, un tissu est loin d'avoir cette structure homogène d'une colonie d'individus ; toutes les cellules ne sont pas exactement de même nature, telles les cellules de l'épiderme, et n'ont pas toujours la même fonction, telles les cellules de la muqueuse du tube digestif.

Enfin, les organes sont formés de tissus différents. Cette complexité morphologique et fonctionnelle d'un organe rend non seulement difficile l'étude de la réaction d'un organe aux rayons X mais surtout malaisées les conclusions à faire.

Nous n'allons pas évidemment passer en revue les effets des radiations sur tous les tissus, mais indiquer brièvement ce qui passe pour la peau ou les muqueuses dermo-papillaires que la radiothérapie de contact irradie fréquemment.

LA PEAU. — Les doses que nous avons données à la peau saine environnant une lésion s'échelonnent de 500 r à 30.000 r, à 2 cm. du foyer, sans filtre supplémentaire (filtration inhérente 0,2 mm. Al) à 50 KV et nous avons observé toutes les lésions de l'épiderme et du derme, depuis un léger érythème jusqu'à la radio-nécrose.

1) Avec des doses de 1.600 r à 3.000 r, petits champs et sans filtre ou avec filtre de 1 mm. Al ou 2 mm. Al, soit à 2 cm. ou 4 cm. du foyer.

Erythème. — On observe l'érythème variable en intensité suivant les doses et les individus ; nous étudierons cet érythème comme exemple au paragraphe du facteur λ . Disons simplement que cet érythème décevant et infidèle, comme dit Lacassagne, a été abandonné comme test dans les essais de dosimétrie biologique. Conséquence d'une vasodilatation du derme et des capillaires des papilles, le mécanisme de cet érythème est inconnu. Il apparaît au bout de quelques jours ; d'autant plus précoce et d'autant plus intense que la dose est plus grande. Il passe quelquefois par 2 ou 3 vagues d'exagération et d'atténuation pour disparaître lentement et laisser la place à la pigmentation.

Pigmentation. — Cette pigmentation, qui peut aller d'un léger brunissement jusqu'à une teinte noirâtre de la peau, varie avec les individus et les régions traitées. Il est la conséquence à la fois d'un dépôt de pigment ferrugineux provenant du sang extravasé des capillaires et d'une exagération du processus normal mélanogénétique qui se fait dans l'épiderme. Par conséquent, à cause de la forte absorption d'intensité par l'épiderme lors de l'irradiation par « contact » il s'observe très fréquemment. Cette pigmentation masque très souvent l'érythème. Souvent même l'érythème disparaît au bout de quelques jours tandis que la pigmentation demeure plusieurs mois et diminue très lentement.

2) Doses 4.000 à 8.000 r.

Radio-épidermite exsudative. — Lésion qui succède par ordre de gravité à l'épidermite sèche, dernier degré de l'érythème avec desquamation. C'est la plus importante lésion cutanée pouvant se réparer intégralement. Après la dose épidermicide (très variable avec les portes d'entrées), l'érythème apparaît le lendemain, se forme très rapidement ; vers le 10^e jour des phlyctènes apparaissent soulevant l'épiderme ; celui-ci tombe vers le 15^e jour et laisse le derme à nu, rosé ou rouge vif, humide, recouvert d'exsudat citrin ou de

membranes diptéroïdes. Cet état reste stationnaire pendant une semaine, l'exulcération ne s'étendant plus ni en profondeur ni en surface ; au contraire la cicatrisation s'annonce par une épidermisation périphérique qui s'étend vers le centre, région qui est la dernière à s'épidermiser. La réparation est terminée avant 2 mois, la restitution est complète mais l'épilation est définitive.

3) Doses très élevées et dans certaines conditions : radio-dermite aiguë.

Le derme est profondément intéressé. Les phénomènes sont d'abord : un érythème précoce, intense, douloureux, prurigineux ; ensuite : vésiculation plus rapide aboutissant à des phlyctènes importantes ; ulcération dont le cratère plus ou moins profond a un aspect jaunâtre dû à la nécrose des tissus ; cette dernière phase est souvent très longue ; cicatrisation atrophique, fragile, télangiectésique. Cette lésion est plutôt un accident que nous étudierons plus loin.

MUQUEUSES DERMO-PAPILLAIRES. — Les mêmes lésions observées sur la peau ont été observées au niveau des muqueuses dermo-papillaires : cavité buccale, lèvres, vulve, gland. La radio épithélite est l'homologue de la radioépidermite ; les lésions sont plus précoces et la cicatrisation plus longue ; les processus sont identiques. Nous n'avons pas irradié d'autres tissus normaux.

C) Action des rayons X sur l'organisme.

Toute action locale d'un agent quelconque : énergie, médicaments, traumatisme, germe, se traduit par une réaction d'ordre général qui démontre que tout l'organisme participe à la réaction.

Tous les radiothérapeutes observent chaque jour le « mal des irradiations pénétrantes », syndrome de BECLERE, d'autant plus intense en dehors de la susceptibilité individuelle, que la dose, la pénétration, la porte d'entrée est plus grande ;

par conséquent se rencontre fréquemment dans la technique de l'irradiation profonde, à un large champ, à dose unique élevée. Au contraire la radiothérapie de contact n'irradie qu'un très petit volume puisque la porte d'entrée et la pénétration sont faibles, n'engendre aucun malaise malgré des doses uniques massives allant jusqu'à 30.000 r ; on n'observe aucun trouble d'ordre nerveux ou digestif ; seule une numération globulaire montre une diminution dans le nombre des globules rouges et surtout des globules blancs, comme nous l'avons observé nous-mêmes (voir p. 133).

Radiosensibilité des tissus. — Nous avons vu que nous pouvions caractériser la radiosensibilité cellulaire par une courbe dite caractéristique, par exemple la courbe de survivance. Pour chaque espèce il existe une courbe caractéristique différente. Si nous considérons maintenant un tissu en général, il comprend outre des cellules de même type mais d'âge et d'activité différents, des formations intercellulaires comme dans les tissus conjonctifs et des liquides interstitiels comme le plasma et la lymphe.

L'effet sur les cellules a été étudié précédemment, mais sur des éléments très homogènes, tandis que les cellules d'un tissu sont loin d'être identiques et diffèrent à la fois par leur forme, leur fonction, leur multiplication. Par exemple toutes les cellules de l'épiderme diffèrent suivant la couche considérée, en particulier la couche basale se distingue très nettement des autres.

L'effet sur les formations inter-cellulaires, tel que les fibres ou cartilages, etc... qui occupent dans l'organisme une place importante, est mal connu. Ces substances exoplasmiques sont à renouvellement très lent et ne réagissent pas comme les cellules qui ont un pouvoir de multiplication. D'une façon générale le tissu conjonctif se sclérose et le tissu osseux se décalcifie.

L'effet sur les liquides interstitiels est lui aussi complexe. Les humeurs, lymphe et plasma subissent des modifications

physico-chimiques : les unes directes dues à l'ionisation des rayons sur les liquides humoraux eux-mêmes ; les autres indirectes dues à la présence des produits engendrée par la mort ou la modification des cellules ambiantes irradiées.

Par conséquent les effets d'irradiation d'un tissu sont complexes parce que les cellules sont moins semblables que dans une colonie homogène et que ces cellules sont entourées de formations exoplasmiques et humorales, et de tractus vasculo-nerveux ; de plus, chaque modification apportée par le rayonnement sur un de ces divers éléments réagit à son tour sur tous les autres.

Pendant les radiosensibilités des tissus normaux sont différentes entre elles et c'est la notion fondamentale ; quant aux lois qui régissent ces différences ce sont celles de BERGONIÉ-TRIBONDEAU énoncées depuis 1906.

Pour un même rayonnement (même qualité, même dose, même répartition dans le temps) les rayons agissent avec d'autant plus d'intensité sur les cellules :

a) *que l'activité reproductrice de ces cellules est plus grande ;*
b) *que leur avenir caryocinétique est plus long ;* c) *que leur morphologie et leurs fonctions sont moins définitivement fixées.*

Sans commenter ces trois articles il faut faire observer qu'ils sont solidaires et qu'ils répondent à un même type de cellules, d'après le loi de Prenant sur l'opposition qui existe entre la division cellulaire et la différenciation ; que de plus ce qui caractérise une cellule au point de vue différenciation, par conséquent au point de vue activité et avenir caryocinétique, c'est souvent l'augmentation de volume du noyau par rapport au protoplasme d'après la loi d'Hertwig.

D'après les notions probabilistes que nous avons données au début de ce chapitre, nous pouvons imaginer que si le noyau représente un élément plus sensible à volume égal que le protoplasme, les généralisations de Bergonié-Tribondeau s'expliquent. Si la loi d'Hertwig a des exceptions, et elle en a, puisqu'il existe des cellules qui sans avoir un gros noyau se divisent, de même la loi de Bergonié-Tribondeau a des

exceptions, exceptions que l'expérience a montrées plusieurs fois. Si au lieu de noyau, considéré comme zone sensible, c'est la région chromosomiale ou centrosomiale, la nature de l'explication reste la même.

ENGLEMANN classe les tissus normaux par ordre de sensibilité décroissante : tissu hémato-poïétique, thymus, ovaire, testicule, papille des cheveux, muqueuse et glandes muqueuses, glandes sudoripares et sébacées, épiderme, séreuses, reins et surrénales, glandes intestinales (foie et pancréas) thyroïde, muscles striés, tissu conjonctif et vaisseaux, tissu osseux, tissu nerveux.

Nous avons indiqué les différents effets produits par les rayons X sans préciser dans quelles conditions exactes se faisaient l'irradiation, c'est-à-dire sans indiquer la longueur d'onde, la dose et sa répartition chronologique. C'est le rôle de ces trois facteurs que nous allons étudier maintenant.

II — RÔLE DES FACTEURS : DOSE, LONGUEUR D'ONDE, TEMPS.

L'étude de l'action d'un agent quelconque sur un organisme, que ce soit l'introduction des composés de la chimiothérapie, les germes de la vaccinothérapie ou les radiations de la roëntgenthérapie, il faut toujours préciser le rôle des trois facteurs fondamentaux : qualité, quantité, répartition dans le temps.

Qualité, c'est-à-dire la nature de l'élément étranger introduit dans l'organisme. La chimiothérapie distingue les corps purs par leur formule non seulement brute mais stéréochimique ; les vaccins seront indiqués par la nature du germe et son mode d'atténuation ; quant aux rayons X ils sont de même nature électromagnétique mais différent entre eux par la

longueur d'onde uniquement. C'est la longueur d'onde en radiothérapie qui représente le point de vue qualitatif.

Quantité, c'est-à-dire le nombre d'unités ; des masses pour les médicaments ; nombre de germes pour les vaccins.

La roentgenthérapie, elle, utilise l'unité r : roentgen international et le nombre d' r représente la *dose*. Définition physique basée sur l'ionisation dont nous préciserons les avantages et dont nous avons donné déjà la définition.

Répartition dans le temps : Tout ce qui existe et surtout l'être vivant dépend du temps et par conséquent la cause qu'elle soit matière, énergie, germe qui viendra perturber un organisme aura un effet qui lui aussi dépendra de la façon dont cette cause même agissante a été administrée dans le temps. La meilleure application des sulfamides exige une distribution chronologique précise ; l'immunité n'est obtenue par les antitoxines que par l'éloignement des doses ; de même l'action optimum des rayons X sera différente pour une dose donnée suivant le temps mis pour la distribuer.

En conclusion : une cellule comme un organisme donné présente une réaction qui est surtout fonction de la *dose* D , de la *longueur d'onde* λ et du *temps* T mis à répartir cette dose. Ce sont ces trois facteurs : qualitatif, quantitatif, chronologique que nous allons envisager dans le cas général et dans le cas particulier de la radiothérapie de contact.

A) Rôle du facteur quantitatif : la dose, et du facteur qualitatif : la longueur d'onde.

La suite montrera pourquoi nous étudierons dans le même paragraphe l'action de ces deux caractéristiques d'un rayonnement : dose et longueurs d'onde. Mais ce qui précède le laisse comprendre. Dans les mesures qualitatives et quantitatives, nous avons montré que ces deux notions étaient liées puisque les mesures de la qualité d'un faisceau pouvaient être déduites des mesures de l'intensité. Les pages précédentes montrent les différents effets obtenus par irradiation sans

préciser les caractéristiques de cette irradiation en dehors de la dose, quelquefois.

La matière réagit à l'action d'un rayonnement par un phénomène : l'absorption d'énergie qui dépend rigoureusement de la longueur d'onde et qui en dépend de deux manières : d'une façon continue, selon la relation de BRAGG-PIERCE et d'une façon discontinue selon la relation de MOSELEY. La matière vivante suivra évidemment les lois d'absorption d'énergie de toute matière, mais en plus la vie elle-même va-t-elle répondre d'une façon différente à une longueur d'onde différente soit que les réactions se modifient d'une façon continue, régulière avec la longueur d'onde, soit que certaines longueurs d'ondes particulières, spécifiques, critiques, engendrent des modifications cellulaires toutes spéciales et soient les seules à les engendrer ? Les radiations molles de la radiothérapie de contact, c'est-à-dire à bas voltage, auront-elles pour une même énergie absorbée par la même épaisseur de tissu des effets différents que les radiations plus dures produites par la radiothérapie profonde ? ou encore certaines radiations auront-elles des effets spécifiques vis-à-vis de certaines cellules ?

Ce problème depuis longtemps étudié n'a pas encore reçu de réponse unanime nette. Notre intention est uniquement de le poser avec précision puisque poser un problème c'est en partie le résoudre, et non pas citer les milliers d'expériences, de faits plus ou moins contradictoires ; accumuler des matériaux ce n'est pas construire.

Une telle question peut s'énoncer de la façon suivante : un *même tissu* sur une épaisseur donnée absorbant une *même dose* dans le *même temps* et les mêmes conditions biologiques, répondra-t-il d'une façon *différente* à chaque longueur d'onde *différente* ?

Mais nous devons préciser plusieurs éléments de ce problème : l'énergie absorbée par la même épaisseur, la mesure de cette énergie, la réponse du tissu et λ différente.

10) *Même énergie absorbée par une épaisseur donnée.*

En effet, certains auteurs qui expérimentent sur un tel sujet semblent négliger cette notion fondamentale et n'indiquent que l'énergie en surface, l'énergie qui rentre dans la peau sans indiquer comment se fait l'absorption. Ainsi STONE et ROBINSON (1940) ont comparé l'action sur la peau des radiations à 200 KV et à 1.000 KV, en irradiant, à l'occasion de cancer de l'utérus, les deux régions inguino-abdominales ; ils s'étonnent que pour obtenir la même réaction cutanée sur chaque région, il faut à 1.000 KV 22 % en plus du nombre *r* donné en surface par les radiations produites à 200 KV et les conclusions suivent.

En réalité, ce résultat n'a rien de surprenant puisque d'après les lois mêmes de l'absorption et de la diffusion, les radiations à 1.000 KV étant plus dures qu'à 200 KV auront leur énergie moins absorbée par la même épaisseur de peau dont on enregistre la réaction ; par conséquent il faudra pour arriver au même effet qu'à 200 KV une dose en surface plus grande. Si on mesurait les énergies non pas reçues par la peau mais absorbées réellement par une même épaisseur, 1 cm. par exemple au moins, peut-être alors les mêmes réactions cutanées seraient observées avec les mêmes énergies absorbées par les mêmes épaisseurs, aux erreurs d'expérimentation près.

20) *La mesure de cette énergie* est actuellement basée sur une réaction de l'air aux rayons X : le phénomène d'ionisation. L'unité 1 « roentgen international » a été définie et toute la dosimétrie physique utilise cette définition. Les propriétés de cette dosimétrie physique sont nombreuses (voir page 33). Mais certains médecins ont voulu que les réactions de l'organisme, qui n'étaient pas parallèles « à la dose évaluée en 1 », soient rapportées à un test biologique pris comme unité et ont cherché une dosimétrie biologique. Parmi les tests très nombreux essayés, un grand nombre d'auteurs ont choisi comme matériel : la peau, et comme effet : l'érythème. Avant de donner les résultats, faisons quelques remarques.

L'introduction de matière, tels les médicaments, dans un

organisme exige, outre la qualité et la répartition dans le temps, de préciser la dose. Les variations du rythme cardiaque dépendent de la masse de digitaline absorbée mais ne sont pas proportionnelles à cette masse ; le myocarde ne réagit à la digitale comme la balance, mais personne actuellement ne proposerait de la doser biologiquement, c'est-à-dire de donner une définition de l'unité digitale basée sur la diminution du nombre de systoles.

Pour la digitaline, comme pour les autres médicaments en général, on utilise la balance, à moins que les corps administrés soient mal définis chimiquement ou soient en quantités infinitésimales, par exemple pour l'opothérapie et la vitaminothérapie ; alors, parce qu'il ne peut pas être fait différemment on se sert d'unités biologiques. Avant, les pharmaciens faisaient de la dosimétrie biologique, par exemple quand ils utilisaient la pincée pour mesurer les masses, et à ce moment-là on toisait les individus en unité biologique comme le pouce, le coude ou le pied. La fidélité, la sensibilité, la facilité des mesures à la balance l'emportent sur les fantaisies et les difficultés des mesures basées sur les réactions d'un organisme.

De même l'introduction d'énergie par un rayonnement X dans un organisme dépend trop de cet organisme pour que celui-ci soit utilisé comme terme de comparaison. Ce serait ignorer à la fois la dosimétrie et la biologie. De même qu'un organisme ne réagit pas à la digitale comme la balance, de même il ne réagit aux radiations comme l'ionomètre, mais cette notion fondamentale ne fait pas rejeter, au contraire, l'emploi de la balance et de l'ionomètre.

Une dosimétrie biologique ne peut pas être une dosimétrie puisqu'elle ne possède pas les qualités demandées : fidélité, associativité, commutativité, sensibilité, facilité des mesures. A-t-on comparé la fidélité de l'ionomètre et les caprices de l'érythème ? L'érythème dépend un peu de celui qui l'observe et beaucoup de celui sur lequel il est observé. La sensibilité, des ionomètres actuels donnent des différences dans les expériences de quelques dizaines d' « r » au plus, tandis que

l'érythème ne varie pas quelquefois avec des écarts de quelques centaines d'« r » comme nous l'avons plusieurs fois observé. Pour faciliter les mesures, il faudrait choisir une « peau » « standard », mais les peaux ne se fabriquent pas en série et ne se règlent pas pour être identiques comme les ionomètres.

Enfin, les deux propriétés nécessaires : commutativité, associativité, n'existent pas puisque la répartition des doses intervient. Ajoutons enfin que personnellement nous ne voyons pas l'intérêt de telles recherches pour déterminer un test unité ; et que de plus jamais la dosimétrie physique, nous ne disons pas l'ionométrie, ne pourra être abandonnée pas plus que la balance pour les médicaments.

Que l'organisme reçoive de l'énergie ou des masses, des radiations ou de la matière, à quelques variantes près, il faut préciser parfaitement, comme nous l'avons dit, le point de vue qualitatif : nature chimique de médicaments ou dureté du rayonnement ; le point de vue quantitatif, masse ou dose et le mode d'administration c'est-à-dire la répartition dans le temps. Au point de vue quantitatif les pharmacothérapeutes « pensent » en masses, grammes et sous-multiples, pourquoi les radiothérapeutes ne penseraient-ils pas en « r » uniquement et non en dose érythème, castration ou bactéricide ?

Le seul reproche, plutôt apparent que réel, que l'on puisse faire non pas à la dosimétrie physique mais au phénomène d'ionisation qu'elle utilise, est le suivant : un faisceau est caractérisé au point de vue quantitatif par le degré d'ionisation de l'air ; or, l'ionisation peut ne pas prendre au faisceau tout ce qu'il contient, c'est-à-dire l'organisme peut prendre au faisceau autre chose que l'air et que nous ne pouvons pas mesurer. Au point de vue énergétique, si l'énergie absorbée par l'ionisation n'est pas rigoureusement égale à celle du faisceau, elle lui est proportionnelle ; d'autre part, si le phénomène primaire c'est-à-dire le premier phénomène qui se passe lors de l'arrivée des photons X et que déclenche tous les autres, n'est pas uniquement l'ionisation des molécules de la cellule ; il n'en reste pas moins vrai que cette ionisation

de la matière a lieu chaque fois que l'énergie est absorbée et que beaucoup d'auteurs la considère comme primordiale.

En conclusion, la dosimétrie physique est à la base même de toute radiothérapie et radiobiologie pour caractériser le point de vue quantitatif ; elle est indispensable. Les nombreux essais de dosimétrie biologique sont autant d'échecs qui nous ramènent vers la dosimétrie physique. L'érythème est un test bien capricieux pour servir de mesure et c'est au dire des auteurs le plus sûr. Que penser alors des autres tests radiobiologiques ?

3^o) *Longueur d'onde différente.* — Les auteurs qui recherchent des effets différents par des longueurs d'onde différente doivent évidemment préciser ce que signifie « longueurs différentes » ; des longueurs sont-elles différentes lorsqu'elles diffèrent de $1 \text{ \AA}$ ou bien quand elles sont aux extrémités d'une gamme. Quant aux effets différents enregistrés ils dépendront un peu de celui qui les observe et beaucoup de celui sur lequel ils sont observés et les conclusions risquent d'être contradictoires comme nous venons de le laisser prévoir et comme l'expérience le prouve.

Maintenant que nous avons posé le problème et montré les difficultés mêmes de son énoncé, essayons d'orienter la ou les réponses d'après l'expérimentation.

D'une façon générale, l'étude de deux phénomènes mesurables, fonction l'un de l'autre, peut être représentée par une courbe. Or, une courbe possède des régions où la fonction est constante ou régulièrement croissante ou décroissante, avec des points maxima et minima et ensuite des régions de discontinuités, des points singuliers.

En supposant la même énergie absorbée par le même volume de tissu dans le même temps, imaginons la courbe $E_F = h(\lambda)$ où E_F représente l'effet et λ la longueur d'onde correspondante. Quelle courbe trouverons-nous : une portion de droite ou une courbe continue, ou bien des points singuliers ou une combinaison de ces diverses variations.

1°) Existe-t-il une variation continue de l'effet E_F avec les variations de λ ?

Certains ont prétendu que les radiations les plus pénétrantes étaient les plus efficaces et ce fut la course vers les plus petites longueurs d'onde, vers les voltages élevés, vers

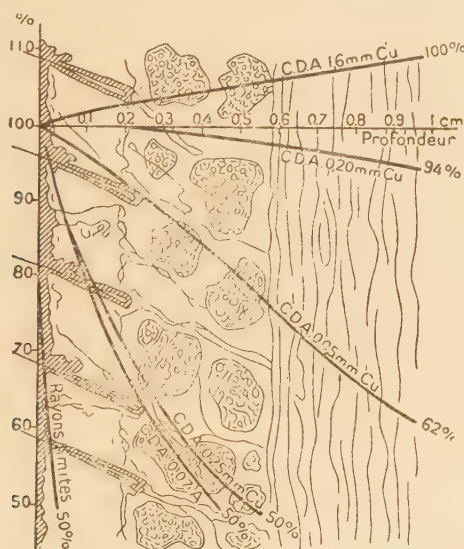


FIG. 17. — Courbes d'absorption de rayonnement de qualités différentes à travers la peau représentée en coupe (Holthusen).

les absorptions plus faibles : 1.000 KV par exemple. Mais il semble que si le prix de telles installations a augmenté parallèlement au voltage, les avantages sur la radiothérapie à 200 KV n'ont pas suivi. Au contraire, en cherchant vers des longueurs d'ondes plus grandes, par exemple vers $\lambda_0=0,2$ environ comme dans la radiothérapie de contact, dont l'étude constitue ce travail, des résultats intéressants sont obtenus par ce bas voltage (50 KV).

La majorité des expériences amène à la conclusion suivante : à une même dose d'énergie absorbée réellement à la même profondeur, les effets observés sont les mêmes, compte tenu

des variations individuelles, quelles que soient les longueurs d'ondes utilisées.

Il faut sans doute, lorsque les rayons sont plus pénétrants et que l'effet érythème est recherché, augmenter la dose en surface pour que la dose réellement absorbée soit suffisante mais cette modification de la dose dépend des propriétés de la matière et non pas des réactions de la vie et de plus les érythèmes observés ont le même aspect.

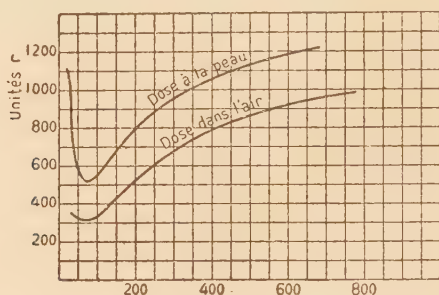


FIG. 18. — Courbes représentant la dose nécessaire pour obtenir l'érythème en fonction de la qualité du rayonnement (Leucutia et Corrigan).

En abscisses le kilo-voltage et en ordonnées les doses en r.

Nous illustrons par deux expériences ce que nous venons de dire.

Le schéma dû à HOLTHUSEN montre les différentes absorptions dans la peau suivant les différents voltages (fig. 17) et au-dessous la courbe due à LEUCUTIA exprime la dose en surface nécessaire pour obtenir le même érythème (fig. 18).

Ces deux résultats s'interprètent facilement : l'érythème étant dû à la congestion des vaisseaux du derme, il faut que la dose en surface d'abord arrive jusqu'au derme, ensuite qu'elle lui abandonne une certaine énergie. Ainsi les rayons très mous (20 KV) sont très absorbés par l'épiderme et arrivent en petite quantité jusqu'au derme ; il faudra donc une dose en surface très élevée ; quant aux rayons très durs, eux traversent très

bien l'épiderme, mais aussi le derme dans lequel ils n'abandonnent qu'une fraction d'énergie insignifiante; par conséquent pour les rayons très durs comme pour les rayons très mous il faudra une forte dose en surface. Au contraire, aux environs de 80 KV la pénétration dans le derme est maxima et la dose en surface à donner minima. (Les auteurs ne signalent pas la distance focus-peau).

Lorsqu'un tissu est bombardé par des photons, c'est l'énergie totale seule qu'ils abandonnent dans leur traversée de ce tissu qui semble compter pour produire un effet quelle que soit l'énergie quantique $h\nu$ de chaque photon. Si la matière réagit par l'effet d'absorption d'une manière différente à un λ , différente, le facteur « vie » n'apporte rien de plus à cette réaction.

La radiothérapie de contact intervient donc par sa forte absorption dans la matière et non par des propriétés électives de ses longueurs d'onde sur la vie.

20) Existe-t-il des variations discontinues de l'effet E_F avec certaines λ ?

La matière, nous le savons, présente vis-à-vis de certaines radiations caractéristiques des discontinuités dans le phénomène d'absorption. Un organisme, un tissu vivant possédera-t-il des longueurs d'ondes spécifiques, d'un effet très différent des radiations voisines ? Certains photons auront-ils le privilège pour un tissu donné d'eugendrer des réactions que d'autres photons abandonnant la même énergie, ne pourraient produire ? Rien ne s'y oppose à priori et le mot impossible, disait Ampère, ne doit pas être prononcé en dehors des mathématiques.

Si nous irradiions successivement la peau avec une même intensité par des radiations de longueur d'onde $0,4 \mu$ à $0,8 \mu$ la peau ne réagira pas différemment à chacune de ces radiations ; mais si c'est l'épithélium rétinien, l'effet ne sera plus le même : les cellules de la rétine distingueront des couleurs bleues de nuances différentes ; l'œil peut donc séparer $10 A^\circ$ dans les radiations de la gamme $0,4 \mu$ à $0,8 \mu$; de telles radiations

sont spécifiques pour l'œil. Est-ce que la peau, elle aussi, n'engendrerait pas des réactions spécifiques ?

Sur l'échelle des radiations roentgeniennes aucune expérience cruciale n'a mis en évidence quelque λ privilégiées agissant électivement sur un tissu.

« MOPPET a affirmé cette électivité dans ses expériences sur la membrane chorio-atlantoïde de l'embryon de poulet qu'il a étendu ensuite aux cultures in vitro et aux tissus de mammifères. Pour une action biologique donnée, il y aurait une longueur d'onde plus efficace ; les longueurs d'onde voisines non seulement n'apportent pas leur action à la sienne mais encore la contrecarrent. Les différents composants d'une radiation hétérogène se neutralisent l'un l'autre dans leur action biologique de telle sorte que la dose seuil pour les radiations hétérogènes se montreraient beaucoup plus grande que pour une radiation homogène convenable.

« Ces expériences reprises par SCOTT et d'autres expérimentateurs n'ont pas été confirmées » (P. LAMARQUE).

En particulier, la dose spécifiquement cancéricide c'est-à-dire la seule qui produirait avec une énergie très réduite une nécrose des cellules anormales avec sécurité absolue par les cellules saines, n'a pas été trouvée malgré un grand nombre de recherches. L'électivité des radiations doit être évidemment recherchée, cette exploration de l'étendue des λ pourra conduire à des découvertes intéressantes puisque, comme le dit Paul VALÉRY : « l'homme est petit parce qu'il cherche, grand parce qu'il trouve ».

Voici donc les conclusions qui semblent s'imposer actuellement :

1^o) *Si un tissu ou une colonie de cellules reçoit, sous une certaine épaisseur, une irradiation d'une certaine longueur d'onde λ , apportant une énergie E , ce tissu ou ces individus de la colonie présenteront encore le même effet avec un rayonnement de longueur d'onde quelconque λ' pourvu que l'énergie absorbée par la même épaisseur reste E .*

L'effet produit sur un organisme donné et dans les condi-

tions biologiques identiques est fonction uniquement de l'énergie réellement absorbée et non pas de la longueur d'onde. Il n'y a pas de longueur d'onde spécifique d'un effet donné.

Evidemment, la dose en surface variera avec la longueur d'onde employée, et des doses en surface identiques produiront avec des longueurs d'ondes différentes des effets différents ; mais ce n'est pas dans ce sens qu'il faut parler d'action variant avec la longueur d'onde.

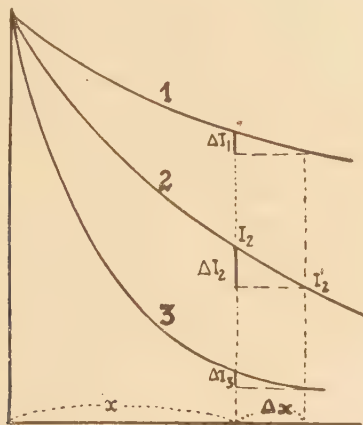


FIG. 19. — Courbes d'absorption montrant l'énergie retenue par une même épaisseur Δx de tissu : à une profondeur x , pour des rayonnements de qualités différentes.

20) Pour une profondeur donnée et pour une distance $F. P.$ il existe une longueur d'onde λ_p qui permet de donner le maximum d'énergie à cette profondeur :

Ces deux points de vue, que je pense être le premier à préciser, ont une portée très générale et j'indique très succinctement ici certains calculs.

Loi de la longueur d'onde optimum. — Maximum d'énergie, une profondeur donnée.

Si nous admettons que seule la dose réellement absorbée

est utile pour produire un effet, le problème qu'il faut résoudre est celui-ci :

Quelle qualité doit posséder un faisceau pour obtenir à une profondeur x et sur une épaisseur Δx l'énergie absorbée maximum ?

Construisons sur un même graphique les courbes d'absorption dans les tissus pour différents faisceaux, fig. 19. Un simple examen montre que la courbe 2 à une profondeur x et sur une épaisseur Δx donne une plus forte absorption $\Delta I_2 = I_2 - I'_2$ que les courbes 1 et 3. A dose égale en surface, parmi ces 3 faisceaux, c'est le n° 2 qui donnera la plus grande énergie absorbée dans cette région et c'est lui qui produira l'effet le plus énergique.

Toutes les courbes d'absorption correspondant aux divers rayonnements pourraient être construites et on choisirait celle qui donnerait l'absorption ΔI maximum ; un tel rayonnement serait le rayonnement optimum.

Nous développons ici à titre d'exemple uniquement les cas les plus simples et nous *négligeons la diffusion*. en retour.

1°) Rayonnement monochromatique cylindrique

Admettons que nous puissions appliquer le loi exponentielle : $I_x = I_0 e^{-\mu x}$ (foyer très éloigné).

I_x = Intensité à la profondeur x

I_0 = intensité en surface.

μ = coefficient global d'absorption

A la profondeur $x + \Delta x$, l'intensité devient $I_x + \Delta I_x$ et par conséquent l'épaisseur Δx a absorbé l'énergie ΔI . Le rapport $\left| \frac{\Delta I}{\Delta x} \right|$ caractérise le degré d'absorption.

Passons maintenant à la limite, c'est-à-dire supposons que la tranche devienne infiniment mince, le rapport $\frac{\Delta I}{\Delta x}$ tend par définition vers la dérivée $\frac{\delta I}{\delta x}$, dérivée qui existe en ce point et qui représente la pente de la tangente à la courbe.

D'ailleurs il est évident que plus cette pente est grande en valeur absolue, plus l'absorption est élevée :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\partial I}{\partial x} = -\mu I_0 e^{-\mu x}$$

le degré d'absorption peut être représenté par $-\frac{\partial I}{\partial x}$ par définition.

Il faut donc calculer lorsque la qualité du faisceau change, c'est-à-dire sa longueur d'onde ou encore son coefficient μ d'absorption, quelle est la valeur maximum de $-\frac{\partial I}{\partial x}$ à une distance *fixe* x .

Dérivons donc une seconde fois, mais par rapport à μ

$$\frac{\partial}{\partial \mu} (\operatorname{tg} \alpha) = \frac{\partial^2 I}{\partial \mu \partial x} = I_0 e^{-\mu x} (\mu x - 1)$$

cette dérivée s'annule en passant du négatif au positif, mais $\operatorname{tg} \alpha$ en valeur absolue prend une valeur maximum pour $\mu x - 1 = 0$; d'où :

Formule de λ optimum :

$$\mu_p x_p = 1$$

Loi : A une profondeur x , parmi tous les rayonnements monochromatiques parallèles, c'est celui dont le coefficient d'absorption est $\mu_p = \frac{1}{x}$ qui est le plus absorbé. Au coefficient optimum d'absorption μ_p correspond une *longueur d'onde optimum* λ_p .

Courbe des longueurs d'onde optimum pour chaque profondeur.

En admettant que les tissus absorbent les radiations comme l'eau, on peut utiliser les coefficients d'absorption μ pour chaque longueur d'onde λ qui sont donnés par HOLTHUSEN.

Nous avons construit la courbe $\lambda_p = p(x)$ (fig. 20)

2^o) *Rayonnement monochromatique conique :*

Comme nous l'avons montré la distance focus-peau joue un rôle trop important pour être négligée, surtout en radiothérapie de contact. Nous avons proposé dans le chapitre 1^{er} (page 27) une formule, sans doute approchée, mais qui fait prévoir le rôle de la distance F.P. = y

$$I = I_0 \frac{y^2}{(x+y)^2} e^{-\mu x}$$

I intensité après que le faisceau a traversé l'épaisseur x

I_0 intensité à la surface ($x = 0$)

y distance focus-peau F.P.

μ coefficient d'absorption.

La pente, est proportionnelle à l'absorption et représente changée de signe le « degré d'absorption » à la profondeur x.

Les procédés de calculs sont les mêmes que précédemment, mais au lieu d'avoir une seule variable x, il existe deux variables indépendantes : la profondeur x et la distance y :

Le degré d'absorption, comme précédemment, est égal à $-\frac{\delta I}{\delta x}$ à la profondeur x ; et il faut déterminer le maximum de cette fonction.

Les conditions d'extremum sont :

$$\frac{\partial^2 I}{\partial x \partial \mu} = 0 \quad \frac{\partial^2 I}{\partial x \partial y} = 0$$

Il est inutile d'indiquer ici les détails de ces calculs nous donnerons les conclusions :

la quantité $\frac{\partial^2 I}{\partial x \partial y}$ ne s'annule jamais et la quantité $\frac{\partial^2 I}{\partial x \partial \mu}$ s'annule lorsque la relation suivante est vérifiée.

$$\mu x + \frac{2x}{x+y} = 1 \quad \text{ou} \quad \mu x = \frac{y-x}{y+x}$$

Cette formule signifie que parmi tous les rayonnements émis à la distance y et atteignant la profondeur x, c'est celui dont le coefficient d'absorption μ (et par conséquent la

longueur d'onde) vérifie la relation indiquée, qui aura la plus grande partie de son énergie absorbée à ce niveau.

C'est ce rayonnement optimum qui, d'après nous, produira à la profondeur x , pour une même dose en surface que les autres rayonnements le maximum d'effets.

Par exemple pour l'appareil Philips :

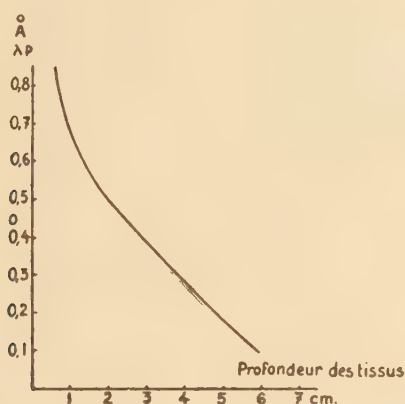


FIG. 20. — Courbe de la longueur d'onde optimum λ_p en fonction de la profondeur. (Faisceau monochromatique, cylindrique, sans diffusion de retour).

1^o) Rayonnement C, la filtration de 2,5 mm.Al le rend pratiquement monochromatique ;

$$y = \text{F.P.} = 2 \text{ cm. ; } \lambda = 0,33 \text{ Å } \mu = 0,27$$

la formule donne pour x environ 1 cm.

c'est-à-dire qu'à la profondeur de 1 cm. c'est le rayonnement C de l'appareil Philips qui donne les meilleurs résultats pour des doses en surface égales.

2^o) Rayonnement F : $y = \text{F.P.} = 4$; $\mu = 0,27$ c'est la profondeur de 1,5 cm. environ.

Nous ne développerons pas davantage ici ce problème de la longueur d'onde optimum et de la distance focus-peau à meilleure, puisque nous sortirions une fois de plus de notre

sujet, mais il n'est pas défendu de penser que de telles considérations pourront apporter quelques nuances heureuses dans les techniques radiothérapiques.

3^o) *Faisceau polychromatique.*

Les courbes spectrales présente un maximum d'énergie pour λ_m ; à la profondeur x nous choisirons λ_m tel que le coefficient d'absorption correspondant obéisse à la formule ; les longueurs d'ondes plus grandes sont surtout absorbées par une profondeur plus petite que x et c'est l'inverse pour les longueurs d'ondes plus grandes.

B) **Facteur chronologique.**

La vie est liée au temps et ce facteur-temps joue un rôle fondamental en thérapeutique comme en biologie. Si un élément étranger est introduit dans un organisme, que ce soit les molécules d'un médicament ou les photons d'une radiation, cet organisme réagit différemment pour une même dose totale suivant le fractionnement même de cette dose. Cette notion appliquée de tout temps en pharmacologie pour l'introduction de matière est appliquée aussi avec succès en radiologie par l'introduction d'énergie. La répartition de la dose c'est-à-dire le facteur-temps-intensité intervient à la fois par l'intervalle qui sépare chaque séance d'irradiation et par la durée de chaque séance ; le nombre des combinaisons est illimité pour une même dose totale.

Soit Q : une dose totale donnée en quelques minutes pour obtenir un effet déterminé, par exemple un érythème franc et Q' la somme des n doses partielles lorsqu'on fractionne la dose nécessaire pour obtenir le même résultat. Par exemple au lieu de donner $Q = 2.000$ r en 20 secondes pour obtenir l'érythème, on donne chaque deux jours une dose de 200 r, combien de jours faudra-t-il donner 200 r ou encore quelle sera la dose totale Q' nécessaire dans cette deuxième répartition pour obtenir le même érythème qu'avec la dose

$Q = 2.000$ r donnée en seule fois dans un temps très court ?
L'expérience a montré que les 3 cas suivants peuvent se présenter :

1°) $Q' > Q$ c'est-à-dire qu'il faut augmenter la dose étalée Q' par rapport à la dose unique Q pour obtenir le même effet sur un tissu donné.

Q' est fonction de Q , du nombre d'irradiations, de l'intervalle qui sépare chaque séance et de la dose de chaque irradiation ;

Evidemment, pour expliquer ce résultat on peut le comparer au fait qu'un organisme réagit efficacement contre l'étranger (antixénisme de Grasset) que cet étranger soit molécule, ion ou photon, énergie ou matière. Tout se passe comme si l'organisme « éliminait » cet élément étranger pour retrouver sa spécificité antérieure, c'est-à-dire se restaurait ; cette restauration, comme dit le Professeur LAMARQUE, tendant à le ramener à l'état initial avant l'irradiation et par conséquent il faudra pour compenser cette élimination d'énergie augmenter la dose totale.

Mais en continuant des comparaisons on peut encore dire qu'un organisme irradié plusieurs fois pourra peut-être s'entraîner à éliminer plus rapidement cette énergie et le mot de radio-vaccination a été prononcé.

2°) $Q = Q'$, l'effet observé est indépendant du temps émis pour répartir la dose totale et ne dépend que de celle-ci ; les doses s'additionnent arithmétiquement comme pour l'ionisation de l'air. Ce cas rarement observé a été signalé pour le nombre de mitoses arrêtées par le rayonnement.

La sensibilité cellulaire resterait constante et il n'y aurait ni restauration ni vaccination. La dose unique à fort débit, de 6.000 à 8.000 r par minute, donnée par l'appareil de contact, permet de se placer dans ces conditions puisque pendant le temps très court la vitesse de restauration ou de vaccination est négligeable ; la réaction ne dépend alors que de la dose totale et non du temps mis à la donner.

3°) $Q' < Q$. La dose totale Q' donnée par fractionnement est plus petite que la dose Q donnée en une seule fois dans un temps très court. Ce phénomène, plutôt rare, a été observé d'une façon très nette par REGAUD sur la stérilisation du lapin. Tout se passe comme si la cellule devenait à un moment donné plus radiosensible ; soit que la cellule, comme tout être vivant, évolue d'une façon cyclique et qu'à un certain moment, de cette évolution, aux phases mitotiques par exemple, elle soit plus fragile vis-à-vis des photons, alors l'étalement de la dose pourra surprendre la cellule à ce moment-là ; soit encore, mais cela paraît de moins en moins acceptable, que les irradiations antérieures sensibilisent les tissus et produisent un effet homologue à l'anaphylaxie.

En résumé, si nous sauvons les phénomènes, comme le demande Platon et laissons de côté les hypothèses, interprétations plus ou moins commodes :

1°) La réaction d'un même tissu à une irradiation donnée pour une même énergie totale absorbée dépend des irradiations antérieures et par conséquent du fractionnement, en un mot de son passé radiothérapique.

2°) La réaction d'un tissu à un même fractionnement, c'est à dire à une-même- répartition des mêmes doses partielles, varie avec chaque tissu, et avec l'ambiance biologique en particulier l'innervation, vascularisation, rapports avec les tissus voisins.

III. — THÉORIES RADIOBIOLOGIQUES.

Henri POINCARÉ a dit : « Les faits tout nus ne sauraient nous suffire », c'est pourquoi il faut ordonner et organiser ces faits ; en un mot, il faut s'élever au-dessus de l'expérience

par l'interprétation et la généralisation à l'aide de quelques hypothèses dont l'ensemble forme une théorie. Cette théorie devra évidemment contenir les faits qui l'ont fait naître, mais en découvrir ou en expliquer de nouveaux ; ainsi sera mise en évidence non pas la vérité mais la commodité de la théorie.

S'il existait une seule théorie radiobiologique complète, elle comprendrait deux parties : une théorie expliquerait les processus physiques, chimiques, biologiques qui se succèdent depuis l'action des rayons X jusqu'à la réaction visible, de l'organisme, et une théorie mathématique qui mettrait ces phénomènes en équation. La radiobiologie est encore une collection de faits très nombreux et très variés, mais déjà de nombreux essais intéressants ont été tentés pour mettre de l'ordre c'est-à-dire pour faire de la radiobiologie une science. Ce sont ces essais, ces nombreuses hypothèses de travail que nous allons passer en revue, sans rentrer dans les détails et les discussions. Comme nous l'avons laissé prévoir, il y aura des théories physiques, chimiques, physico-chimiques qui expliquent l'action et des théories biologiques qui expliquent les réactions de l'organisme et enfin des interprétations mathématiques,

I. — Théories qui expliquent l'action des rayons X.

Les auteurs se sont placés au point de vue tantôt physique, tantôt physico-chimique, tantôt chimique d'où les différents groupes.

A) Théories physiques : elles sont toutes basées sur la notion d'action discontinue, de quanta d'énergie et par conséquent de probabilités. Les photons, tels les projectiles, pourront atteindre une certaine région de la cellule où ils produiront leurs effets.

1^o) *Le « point chaud »* de DESSAUER.

Les électrons arrachés au hasard par les radiations engendrent des paires d'ions et ces ions se recombinaient immédiatement en libérant une quantité de chaleur dans un volume très restreint de la cellule, cette chaleur amenant des désordres tels que : échauffement, coagulation, etc... qui entraîneraient les effets observés.

2^o) « *La cible* » de CROWTHER, Mme CURIE, HOLWECK et LACASSAGNE.

Seuls les quanta d'énergie absorbés par un « volume sensible » ou cible de la cellule, sont suivis d'effets. L'absorption d'énergie en dehors de cette zone dangereuse pour la cellule ne produit rien. De plus, il faut un certain nombre de coups au but pour observer un effet donné. Au lieu d'admettre le quantum absorbé comme *primum movens*, d'autres auteurs ont pris l'électron pour frapper la cible, ou la formation d'une paire d'ions dans le volume de la cible.

B) Théories physico-chimiques : elles sont basées sur les actions physico-chimiques des radiations sur la matière en général. FERNAU en 1925 pense à la formation de courants électriques locaux par les phénomènes d'ionisation et ces courants apporteraient des modifications par l'électrolyse, etc... CROWTHER fait jouer un rôle fondamental aux changements des charges électriques des colloïdes cellulaires. Il existe encore un grand nombre d'hypothèses d'ordre physico-chimiques : modifications du PH, variation de la pression osmotique. FAILLA, se basant sur les expériences de SIGIURA relatives à l'étude de l'irradiation du sarcome 180 de la souris et d'autres tissus admet que les ions et certains dérivés chimiques apparaissent dans la cellule et dans le milieu extracellulaire. La circulation ou d'autres processus modifie la concentration relative sur les deux faces de la membrane et la modification de la perméabilité entraîne le gonflement, distorsion, en un mot les phénomènes constituant la radio-lésion.

C) Théories chimiques : poison. Les rayons X arrivant dans les formations cellulaires libèrent un poison inconnu qui diffuse et qui produit les effets observés, effets d'ailleurs analogues à ceux qui traduisent de nombreux poisons cellulaires. Par exemple SCHWARZ, en étudiant l'irradiation de l'œuf de poule constate la production de choline, substance toxique, engendrée par décomposition de la lécithine, et WERNER a essayé d'obtenir par des injections de choline des lésions cellulaires analogues à celles produites par les radiations.

II. — Théories qui expliquent les réactions de l'organisme. (*Théorie biologique.*)

La théorie précédente essaye de préciser la première étape, le *primum movens*, qui va déclencher le processus biologique donné et les théories biologiques tentent une explication de ce processus.

La cellule, lorsqu'elle reçoit un élément étranger, réagit-elle différemment selon la nature de cet élément étranger, les photons d'un rayonnement X, calorifique, les molécules d'un poison, les germes d'une maladie ? L'énergie, la matière, les êtres vivants, le vieillissement ont-ils une action spécifique ou engendrent-ils un processus de réactions identiques ?

Tous peuvent aboutir au même résultat : la mort, précédée par les mêmes agonies, mais avant l'agonie la cellule se modifie, l'organisme se défend par des processus dont les détails peuvent varier suivant l'agent causal. Certains auteurs admettent une spécificité dans l'action des rayons X et SCOTT précise que la spécificité des réactions cellulaires n'auraient lieu que par l'atteinte du noyau par les photons et qu'au contraire le protoplasme réagirait toujours de la même façon quel que soit l'agent perturbateur.

NEMENOW compare exactement l'action d'une irradiation à l'action du temps, c'est-à-dire au vieillissement. Pour lui, irradier c'est vieillir ; c'est faire vivre l'élément dans un autre temps, sa dimension temps est modifiée.

Nous dirons pour donner une conclusion à ces théories que chaque erreur contient une parcelle de vérité et qu'il la faut rechercher dans chacune des hypothèses.

III. — Théories mathématiques.

« Comprendre un phénomène c'est le mettre en équation », répétait Lord KELVIN. Nous allons donc poser les théories mathématiques actuelles en indiquant les hypothèses faites en développant les calculs et en les soumettant au jugement de l'expérience ; et nous terminerons en proposant une théorie plus générale.

Nous supposons dans tout ce qui suit que la dose est *unique* et qu'elle est donnée *dans un temps très court* à une colonie *d'individus semblables*.

A) Théories actuelles : Théorie physique du quantum d'action.
Théorie biologique de la variation individuelle de la réaction.

a) *Hypothèses.* Actuellement, la physique moderne nous apprend l'indéterminisme qui accompagne l'action des radiations et de tout temps la médecine a insisté sur l'indéterminisme des réactions d'un individu.

Peut-on comparer l'ordre de grandeur de l'incertitude dans les répartitions de ce qui agit dans un rayonnement et l'ordre de grandeur de l'incertitude dans les variations des individus qui réagissent ?

Doit-on négliger la variation individuelle des réactions devant l'indéterminisme de l'action quantique du photon ? Ce serait émettre que toutes les cellules atteintes de la même façon présenteraient la même réaction, par exemple la mort, comme des individus qui absorberaient 1 gr. de digitaline ; la variation individuelle est négligeable, infiniment petite devant l'intensité de l'action et la connaissance de la seule répartition des photons ou de la digitaline donneraient le résultat des survivances. Le problème est alors basé d'une part sur une répartition quelconque de l'action, d'autre part

sur la réponse identique de chaque individu atteint de la même façon.

Au contraire, doit-on négliger l'indéterminisme quantique devant la variation individuelle ? Ce serait admettre que toutes les cellules reçoivent la même atteinte, la même action de rayonnement mais que leur réaction peut être quelconque, due au hasard de la susceptibilité de l'individu ; par exemple une distribution identique presque mortelle de digitaline à des chats ne les tue pas tous, et chacun résiste à sa façon. Le problème est donc basé ici d'une part sur la répartition identique de l'action des rayons X, d'autre part sur la réaction quelconque de chaque cellule.

Ces deux points de vue pris isolément permettent, comme le dit J.A. REBOUL, à la fois des calculs identiques et simples. Les calculs statistiques sont en effet identiques puisque les hypothèses sont en réalité les mêmes ; dans la théorie quantique on suppose que les individus atteints réellement obéissent aux probabilités, c'est-à-dire que l'action des rayons X, les causes de phénomènes sont soumises aux lois du hasard ; au contraire dans la théorie de la variation individuelle ce sont les individus donnant la réaction-test qui obéissent aux probabilités, c'est-à-dire que les effets uniquement sont soumis aux lois du hasard.

CONCLUSION : La **théorie physique** est basée sur la **répartition quelconque de l'action** sur des **individus identiques** ; tandis que dans la **théorie biologique**, la **réaction** des individus, soumis à une **action identique**, peut être **quelconque**.

b) *Calculs.* Rappelons brièvement les calculs de CROWTHER : Soit α la probabilité supposée constante pour qu'un individu soit atteint une fois par une dose unité ; N, nombre total d'individus semblables composant la colonie biologique : y_1 le nombre des individus atteints une fois par la dose q et par conséquent $Z_1 = N - y_1$ les individus intacts. Si on donne à la dose q l'accroissement dq le nombre d'individus atteints y_1 prendra un accroissement dy_1 . La probabilité se définit

par le rapport entre le nombre de cas favorables et le nombre de cas possibles.

Appliquons cette définition à l'action d'une dose dq :

dy_1 : Nombre d'individus atteints par la dose dq (cas favorables)

$N - y_1$: nombre d'individus semblables (cas possibles)

αdq : probabilité d'atteinte pour une dose dq puisque α représente la probabilité pour une dose unité.

donc : $\frac{dy_1}{N - y_1} = \alpha dq$ équation différentielle dont la solution est :

$$y_1 = N [1 - e^{-\alpha q}]$$

y_1 : nombre d'individus atteints *au moins une fois par la* dose q .

Le nombre de survivants $Z_1 = Ne^{-\alpha q}$ (courbe exponentielle de survie).

Le raisonnement peut facilement être étendue au cas où il ne suffit pas d'une atteinte pour obtenir le test, mais de p atteintes :

y_{p-1} : nombre d'individus atteints au moins $(p-1)$ fois par la dose.

y_p : nombre d'individus atteints au moins p fois.

$y_{p-1} - y_p$: nombre d'individus atteints exactement p fois (cas possibles).

dy_p : nombre d'individus atteints ensuite par la dose dq (cas favorables).

Donc par définition, comme précédemment : $\frac{dy_p}{y_{p-1} - y_p} = \alpha dq$
(équation différentielle récurrentielle).
qui est une équation linéaire :

$$\frac{dy_p}{dq} + \alpha y_p = \alpha y_{p-1}$$

L'intégration, donne de proche en proche en tenant compte des conditions aux limites :

$$\left. \begin{array}{l} \text{Nombre} \\ \text{individus} \\ \text{présentant} \\ \text{la réaction} \\ \vdots \\ \text{courbes de} \\ \text{mortalité) } \end{array} \right\} \begin{array}{l} y_1 = N \left[1 - e^{-\alpha q} \right] \\ y_2 = N \left[1 - e^{-\alpha q} \left(1 + (\alpha q) \right) \right] \\ \vdots \\ y_p = N \left[1 - e^{-\alpha q} \left(1 + \alpha q + \frac{(\alpha q)^2}{2!} + \dots + \frac{(\alpha q)^{p-1}}{(p-1)!} \right) \right] \end{array} \quad \left(\begin{array}{l} \text{Formule} \\ \text{de Crowther} \end{array} \right)$$

expressions qui donnent successivement le nombre d'individus qui présentent le test lorsqu'ils sont atteints au moins 1 fois 2 fois...

..... p fois . La suite $\sum_{i=1}^{p-1} \frac{(\alpha q)^{p-i}}{(p-i)!}$ est la suite de POISSON.

Quant aux individus qui ne présentent pas la réaction-test leur nombre sera représenté par une des formules :

$$\begin{array}{l} Z_1 = N e^{-\alpha q} \\ Z_2 = N e^{-\alpha q} (1 + \alpha q) \\ \vdots \\ Z_p = N e^{-\alpha q} \left(1 + \alpha q + \frac{(\alpha q)^2}{2!} + \dots + \frac{(\alpha q)^{p-1}}{(p-1)!} \right) \end{array}$$

Ces différentes expressions peuvent se ramener, puisqu'elles renferment la suite de POISSON, au calcul d'intégrales eulériennes de seconde espèce (complète et incomplète).

$$y_p = N \frac{\int_0^{\alpha q} e^{-\alpha q} \cdot q^{p-1} \cdot dq}{\int_0^{\infty} e^{-q} \cdot q^{p-1} \cdot dq}.$$

Les courbes théoriques correspondant aux différentes fonctions $Z_1...$, $Z_4...$, $Z_9...$, sont représentées par la fig. 21.

Si nous avons fait le même raisonnement, non pas en utilisant l'hypothèse des théories physiques : action quelconque sur des individus rigoureusement identiques, mais en utilisant l'hypothèse de la théorie biologique de la variation individuelle : réaction quelconque des individus atteints identiquement, le raisonnement et les résultats des calculs

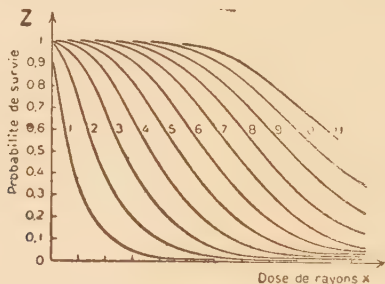


FIG. 21. — Courbes sigmoïdes théoriques, déduites de la formule de Crowther et représentant la survivance en fonction de la dose lorsqu'il faut atteindre l'individu une seule fois ($p = 1$)... 4 fois... ou 9 fois...

auraient été les mêmes. Dans le premier cas, la probabilité d'action règle seule l'indéterminisme des phénomènes, tandis que dans le deuxième cas c'est la probabilité de réaction seule qui intervient.

Au point de vue mathématique l'une ou l'autre de ces théories appliquée uniquement fait dépendre la courbe caractéristique de 2 nombres α et p ; l'un α étant un nombre positif inférieur à 1 ; l'autre p un nombre entier. De plus ces calculs ne précisent pas la nature de l'action ou la nature de la réaction. Ils sont vrais quelles que soient les différentes théories physiques ou physico-chimiques de l'action des rayons ou les théories biologiques de l'effet. Ils admettent simplement le discontinuisme et le probabilisme.

c) *Vérification expérimentale.* L'expérience doit juger ces calculs et il suffit pour cela de comparer les courbes expérimentales et les courbes théoriques (fig. 22) c'est-à-dire de déterminer α et p .

La première courbe Z_1 de forme exponentielle a été trouvée pour certaines cultures bactériennes et les courbes sigmoïdes obtenues se rapprochent des courbes expérimentales, mais ne leur sont pas superposables rigoureusement ; α et p ne

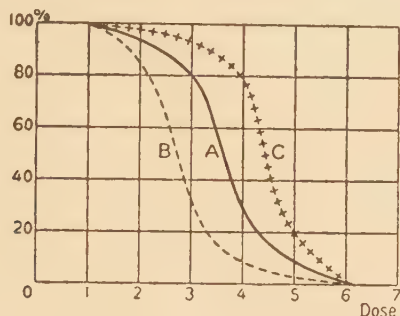


FIG. 22. — Comparaison de la courbe théorique de survivance A et des courbes expérimentales B et C.

répondent pas toujours aux conditions de l'hypothèse ($\alpha < 1$, p entier).

L'allure de ces courbes avait attiré l'attention de certains auteurs sur leur similitude avec les phénomènes statistiques ; d'autres auteurs au contraire veulent rejeter les probabilités dans les hypothèses parce que ces courbes théoriques ne sont pas en parfait accord avec les courbes expérimentales.

Deux auteurs à notre connaissance, ZUEPPINGER et J.A. REBOUL, ont alors apporté une modification à l'équation de CROWTHER :

1^o formule de Zueppinger : il faut pour endommager une cellule « un nombre moyen » représenté par h . Le nombre des survivants est :

$$Z = N e^{-(\alpha q + h)} \left[1 + \alpha (1 + h) + \frac{(\alpha q)^2}{2!} \left(1 + h + \frac{h^2}{2!} \right) + \dots \right]$$

2° formule de Reboul : Soit α la probabilité d'atteinte, et β la probabilité pour que cette atteinte soit suivie d'un effet :

$$Z_p = N \left\{ F(\alpha t) + \beta e^{1-p} e^{-\alpha q (1-\beta)} (1 - F(\alpha \beta t)) \right\}$$

$F(u)$ étant la série de Poisson $= e^{-u} \left(1 + u + \frac{u^2}{2!} + \dots \right)$
utilisée jusqu'à l'ordre $p - 1$.

Ces deux formules nous ont été communiquées par J.-A. REBOUL, au moment où ce travail allait être imprimé.

THÉORIE PROPOSÉE : DU DOUBLE INDÉTERMINISME.

Critique des hypothèses précédentes :

Disons d'abord qu'au point de vue mathématique seul, les théories physiques qui utilisent le quantum d'action sans préciser son mécanisme ou la théorie biologique qui utilise uniquement la variation individuelle sans préciser ce en quoi elle consiste, ne présentent pas de différence et aboutissent aux mêmes résultats dans les calculs. Les hypothèses sont globalement les mêmes. Et puisque l'expérience n'est pas en parfait accord avec les formules, chacune de ces deux théories est insuffisante.

Doit-on pour cela rejeter l'action quantique et la réaction individuelle ? Nous ne le pensons pas, mais il faut modifier les hypothèses de travail puisqu'elles ne sont pas commodes.

Ces deux hypothèses : indéterminisme dans l'action de la radiation et l'indéterminisme dans la réaction de l'individu, sont à la base de la physique et de la biologie et ne doivent être abandonnées qu'en dernière extrémité.

Analysons donc les hypothèses faites et voyons ensuite si nous ne pouvons pas les modifier.

On suppose, dans les calculs que nous avons faits, qu'il faut par exemple au moins « p » atteintes de l'individu pour observer l'effet choisi, par exemple la léthalité. Mais est-ce que ces atteintes vont toujours produire le même effet ? Est-ce que les cellules qui auront reçu « p » atteintes seront seules à donner la même réaction ? Personnellement nous ne le pensons pas.

L'hypothèse admise dans les interprétations mathématiques précédentes, qu'il faut pour tuer une cellule p atteintes dans une zone déterminée est incomplète ; elle représente uniquement une *condition suffisante*, c'est-à-dire que si une cellule reçoit « p » fois le quantum d'énergie dans le volume sensible, elle sera tuée ; mais est-ce qu'une cellule ne peut pas mourir d'une autre façon ; en recevant $p + p'$ atteintes dans une autre région dite « moins sensible » ?

Il est facile de faire des comparaisons multiples, des analogies commodes, entre les organites d'un être monocellulaire et les organes d'un être multicellulaire ; ces organites ou ces organes atteints par une action mécanique, par exemple celle d'un traumatisme, ou une action chimique d'un médicament, biologique d'un germe, présenteront des réactions qui évidemment pour chacun d'eux seront différentes et exigeront des intensités, des doses différentes pour amener le même effet tel que la léthalité.

L'énergie mécanique nécessaire pour détruire le thalamus scriptorius où se trouve le nœud vital sera lui plus petit que l'énergie mécanique portant sur une autre région de l'encéphale ou sur une autre partie de l'organisme pour amener dans les deux cas le même effet mortel ; sans pour cela faire d'hypothèses intermédiaires sur les différents processus qui se suivent depuis la cause jusqu'à l'effet observé.

En résumé, l'hypothèse des théories quantiques représente une condition suffisante mais non nécessaire. Toutes les cellules qui reçoivent p atteintes dans la cible sont tuées, mais toutes les cellules tuées n'ont pas reçu nécessairement p atteintes dans la cible ; elles ont pu recevoir $p + 1$, $p + 2$, etc... dans une autre zone moins vitale.

Par conséquent le calcul qui en résulte ne sera qu'une première approximation pour représenter la réalité.

Hypothèse dans la théorie du double indéterminisme :

Voici donc les hypothèses que nous admettons et qui résultent en partie de ce qui précède :

1°) Les quanta d'**action** et par conséquent les atteintes sont réparties **au hasard**.

Ce premier indéterminisme, l'indéterminisme dans l'action du rayonnement est l'hypothèse des théories quantiques et repose sur les théories actuelles de la physique moderne : discontinuité et par conséquent probabilité.

2°) Les **réactions** de la cellule se font **au hasard** quant au nombre d'atteintes.

Cela signifie que si nous considérons la léthalité comme réaction-test par exemple, le nombre de cellules N_x qui pourront être tuées par x atteintes obéissent à la courbe en cloche de Gauss :

$$N_x = \frac{K}{\sqrt{\pi}} e^{-K^2(x-m)^2}$$

N_x représente le nombre de cellules qui ont besoin pour être tuées de x atteintes, k et m dépendent du matériel biologique considéré. Dans le cas général nous prendrons $1 < x < 2m - 1$.

Cette seconde hypothèse est inspiré par le fait qu'il existe un très grand nombre de facteurs qui interviennent pour amener la mort d'une cellule quand celle-ci est atteinte ; et que nous pouvons imaginer plusieurs façons de réagir pour une cellule atteinte x' fois. Ce point de vue est confirmé par les expériences de CLARK sur la mortalité des chats à la digitaline (fig. 23) ; le polygone de fréquence se rapproche de la courbe gaussienne.

$$\text{La courbe } N = \frac{K}{\sqrt{\pi}} e^{-k^2(x-m)^2}$$

montre en ordonnées le nombre d'individus *qui ont besoin*

pour être tués d'un certain nombre de quanta d'action. Ainsi le nombre d'individus, exigeant pour être tués, d'une très faible dose ou d'une très forte dose, est petit ; au contraire pour un certain nombre d'atteintes m , le nombre d'individus qui seraient tués est maximum pour cette valeur moyenne $x = m$. Cette seconde hypothèse représente le second indéterminisme de la théorie ; il comprend implicitement la variation individuelle, puisque rien ne s'oppose à ce que les individus recevant le même nombre de quanta ne présentent pas la même réaction et inversement des individus peuvent mourir en recevant un nombre d'atteintes différent soit dans la même région soit dans des régions différentes.

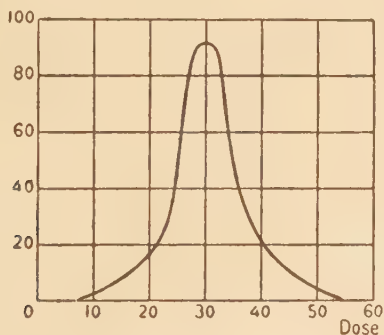


FIG. 23. — Courbe en cloche de Gauss déduite du polygone de fréquence établi par CLARK pour la mortalité des chats à la digitaline.

Calculs :

1^o) Parmi tous les individus *semblables* N d'une colonie biologique un certain nombre seulement N_x peuvent être tués s'ils sont atteints x fois, suivant la loi :

$$(I) \quad N_x = \frac{K}{\sqrt{\pi}} e^{-K^2(x-m)^2} \quad \text{et évidemment } N = \sum_{x=1}^{x=2m-1} N_x.$$

2^o) Parmi tous ces N_x individus, un certain nombre uniquement y_x seront atteints x fois par une dose (seront tués

par exemple) ; et d'après les calculs que nous avons indiqués pour la théorie quantique :

$$y_x = N_x \left[1 - e^{-\alpha q} \left(1 + \alpha q + \frac{(\alpha q)^2}{2!} + \dots + \frac{(\alpha q)^{x-1}}{(x-1)!} \right) \right]$$

α étant la probabilité supposée constante pour qu'un individu soit atteint une fois.

En portant à la place de N_x sa valeur (1)

$$y_x = \frac{K}{\sqrt{\pi}} e^{-k^2(x-m)^2} \left[1 - e^{-\alpha q} \left(1 + \alpha q + \frac{(\alpha q)^2}{2!} + \dots + \frac{(\alpha q)^{x-1}}{(x-1)!} \right) \right]$$

Donc le nombre total d'individus tués Y est la somme de tous les individus tués par 1, 2... x, m... 2 m - 1 quanta d'action

$$Y = \sum_{x=1}^{x=2m-1} y_x$$

$$\begin{aligned} Y &= \frac{K}{\sqrt{\pi}} e^{-k^2(1-m)^2} \left[1 - e^{-\alpha q} \right] \quad \left(\begin{array}{l} \text{individus tués} \\ \text{par 1 atteinte} \end{array} \right) \\ &+ \frac{K}{\sqrt{\pi}} e^{-k^2(2-m)^2} \left[1 - e^{-\alpha q} \left(1 + \alpha q \right) \right] \quad \left(\begin{array}{l} \text{individus tués} \\ \text{par 2 atteintes} \end{array} \right) \\ &\vdots \\ &+ \frac{K}{\sqrt{\pi}} e^{-k^2(x-m)^2} \left[1 - e^{-\alpha q} \left(1 + \alpha q + \frac{(\alpha q)^2}{2!} + \dots + \frac{(\alpha q)^{x-1}}{(x-1)!} \right) \right] \quad \left(\begin{array}{l} \text{individus tués} \\ \text{par x atteintes} \end{array} \right) \\ &\vdots \\ &+ \frac{K}{\sqrt{\pi}} e^{-k^2(2m-1-m)^2} \left[1 - e^{-\alpha q} \left(1 + \alpha q + \frac{(\alpha q)^2}{2!} + \dots + \frac{(\alpha q)^{2m-2}}{(2m-2)!} \right) \right] \quad \left(\begin{array}{l} \text{individus tués par} \\ 2m-1 atteintes} \end{array} \right) \end{aligned}$$

Nous ne nous étendrons pas sur ces calculs pour les modifier ; nous donnerons simplement l'expression équivalente.

$$Y = N \left[1 - e^{-\alpha q} \left(1 + \frac{N-N_1}{N} \alpha q + \frac{N-N_2}{N} \frac{(\alpha q)^2}{2!} + \dots + \frac{N-N_{2m-1}}{N} \frac{(\alpha q)^{2m-1}}{(2m-1)!} \right) \right]$$

$$\text{Le nombre des survivants } Z = N e^{-\alpha q} \left(1 + \frac{N-N_1}{N} \alpha q + \frac{N-N_2}{N} \frac{(\alpha q)^2}{2!} \dots \right)$$

N étant le nombre total d'individus

N_1 nombre d'individus qui n'ont besoin que d'une atteinte pour être tués

N_x nombre d'individus qui ont besoin de x atteintes pour être tués.

Cette équation a une forme analogue mais plus générale que celle déduite des théories quantiques.

Conséquences :

Ces calculs font intervenir trois paramètres α , k , m .

Cette théorie concilie le double indéterminisme : dans l'action du quantum et dans la réaction de l'individu ; mais ce dernier indéterminisme est contenu implicitement et nous ne pouvons pas l'apprécier.

Elle explique le désaccord qui existe entre l'expérience et les théories quantiques actuelles ; en particulier pourquoi CROWTHER a trouvé pour les courbes de mortalité du Colpidium Colpoda $\alpha = 15$ alors que α doit être inférieur à 1 ; pourquoi TERRIL dans ses travaux a trouvé pour le nombre d'atteintes p un nombre compris entre 2 et 3, alors que p doit être un nombre entier.

L'allure des courbes expérimentales se rapprochent des nouvelles courbes déduites de cette nouvelle théorie du double indéterminisme.

Enfin cette théorie plus générale de l'action des rayons X sur une colonie d'individus semblables doit contenir comme cas particulier les résultats des théories actuelles. En effet, on peut concevoir que la courbe en cloche qui représente la

distribution N_x des individus pouvant être tués par x atteintes devient très aiguë, c'est-à-dire où la mort des individus exigerait uniquement m atteintes, alors $N_1 = N_2 \dots = N_{m+1} = 0$ et les formules deviennent identiques dans les théories quantiques actuelles et la théorie du double indéterminisme ; mais nous savons combien cette hypothèse trop particulière est insuffisante pour interpréter les faits.

Cependant on peut se demander pourquoi la théorie quantique interprète correctement certaines expériences sur les cultures bactériennes, telles que celles de WYCKOFF sur *B. coli*, B. aertrycke ou celles de LEA, HAINES et COULSON sur le mesentericus et les staphylocoques dorés ; ou celles plus récentes de HOLWECK et LACASSAGNE sur le pyocyanique, de LORENZ et HENSHAW sur un vibron marin achromobacter fischeri.

Toutes ces expériences sont représentées par la courbe exponentielle pour la survie et il est facile de voir que c'est uniquement lorsqu'il faut et qu'il suffit d'une seule atteinte ($p = 1$ ou $m = 1$) que les théories actuelles et la théorie du double indéterminisme ont une solution identique.

C'est le seul cas où les deux théories donnent la même courbe ; on peut interpréter ce cas de la façon suivante : l'individu ne présente pas de variation individuelle devant l'importance du traumatisme apporté par le photon ; une seule atteinte suffit pour le tuer et la répartition statistique des atteintes indique la mortalité des individus.

CONCLUSION :

Les hypothèses que j'ai faites pour cette théorie sont très générales :

1^o) L'action des radiations est discontinue et indéterminée, sans préciser si c'est le photon, l'électron ou même l'énergie qui est la cause efficiente.

2^o) La réaction, quelle que soit son mécanisme, est soumise elle aussi au hasard.

CHAPITRE V

ÉTUDE THÉRAPEUTIQUE

La radiothérapie dans un sens le plus large, depuis les infra-rouges jusqu'aux rayons γ en passant par toutes les gammes roentgénéennes, permet de traiter les troubles fonctionnels, les inflammations, les néoformations.

La radiothérapie de contact, par sa courte distance et par ses radiations molles, traite uniquement les lésions qui peuvent être mises au contact du tube. Nous étudierons successivement dans ce chapitre :

- I *Le principe de la radiothérapie.*
 - II *Les indications de la radiothérapie de contact.*
 - III *Les conditions générales d'applications.*
 - IV *Les accidents qui peuvent en résulter pour le malade.*
 - V *Les conditions particulières à chaque lésion et les résultats obtenus.*
 - VI *Comparaison et association avec d'autres méthodes thérapeutiques.*
 - VII *La protection du médecin.*
-

1) PRINCIPE DE LA RADIOTHÉRAPIE

Toute thérapeutique doit évidemment guérir la maladie sans nuire au malade. Il faut donc en général une certaine sélectivité de l'agent, médicament ou radiation, pour la lésion.

La radiothérapie anti-tumorale a pour but de détruire les cellules d'une néoformation souvent maligne. Cette destruction est obtenue de deux façons différentes :

1^o) Par une action caustique.

Les radiations produisent une nécrose des tissus, analogue à celles d'un agent chimique ou de la thermo cautérisation. Toutes les cellules, anormales et normales sont détruites par une forte dose unique. Méthode qui ne peut être utilisée que pour les néoformations de petits volumes.

C'est la méthode par excellence de la radiothérapie de contact. (VAN DER PLAATS a mis cette cautérisation au rang d'une méthode, au moyen des rayons du tube Philips ou Chaoul.)

Cette causticité n'existe qu'en surface où la dose absorbée dans le premier centimètre est énorme ; dès que le rayonnement avance dans la profondeur, les tissus le filtre, il devient plus dur, plus homogène et son action devient alors élective.

2^o) Par une action sélective.

Cette sélectivité est basée sur la différence de radiosensibilité cellulaire. Les cellules cancéreuses ayant une activité mitotique très grande par rapport aux cellules normales sont plus radiosensibles. Mais comme le fait remarquer BÉTOULIÈRES il ne faut pas confondre radiosensibilité et radiocurabilité.

Cette méthode sélective est la seule qui peut être employée pour les tumeurs inaccessibles ou de volume important ; cette

sélectivité est augmentée par l'étalement de la dose. Par conséquent, la radiothérapie profonde l'utilise toujours, la radiothérapie de contact quelquefois.

CONCLUSION.

La radiothérapie de contact a donc à la fois :

— *une action caustique* sur la superficie lorsque la dose est massive.

— *une action sélective* sur les couches moins superficielles, sélectivité qui est augmentée par le fractionnement.

II) INDICATIONS GÉNÉRALES DE LA RADIOTHÉRAPIE DE CONTACT

Ce qui précède montre le rôle de la longueur d'onde qui représente en quelque sorte la portée de l'énergie radiante. Seule l'énergie intervient pour produire les effets observés, seule la longueur d'onde intervient pour préciser la région où l'énergie est maximum. L'organisme réagit alors selon ses sensibilités tissulaires. Le principe de la radiothérapie de contact prescrit donc les indications nécessaires suivantes :

1^o) Accessibilité de la lésion.

Il faut mettre la lésion au contact même du tube puisque l'énergie s'amortit dans les premiers centimètres. A un $\frac{1}{2}$ cm. de profondeur de tissu la dose a diminué de moitié et à 4 cm. elle n'est plus que le 1 % de la dose en surface fig.(24). Cette mise au contact du tube exige que *les lésions soient superficielles* ; c'est le cas des cancers de la peau, des muqueuses de la bouche, du vagin, ou que *les lésions profondes* soient extériorisées par un acte chirurgical.

2^o) Faible épaisseur de la lésion

Cette condition est la conséquence aussi de la grande longueur d'onde et de la faible distance. L'épaisseur ne devra pas dépasser 3 cm environ sinon les erreurs sur l'appréciation de la profondeur et par conséquent de la dose sont grandes et peuvent devenir dangereuses.

L'inconvénient des épaisseurs trop grandes est non seulement le danger des radionécroses par surdosage, mais aussi un reliquat de cellules cancéreuses par sous-dosage.

3°) Faible étendue de la lésion.

La courte distance focus peau exige, comme nous l'avons expliqué, des champs très petits, ne dépassant pas 2 cm de diamètre, afin de conserver un rayonnement homogène en surface. Nous indiquerons les moyens employés pour répartir uniformément la dose à la surface.

Lorsque la surface est plus grande, il faut multiplier les champs et alors le traitement devient plus délicat parce que certaines zones n'auront pas reçu la dose nécessaire, ou bien une dose exagérée.

III. — CONDITIONS GÉNÉRALES D'APPLICATION : POSOLOGIE ; TECHNIQUE

Toute thérapeutique : chimiothérapie, vaccinothérapie, radiothérapie doit indiquer avec précision la posologie : le point de vue qualitatif, c'est-à-dire la nature, le point de vue quantitatif c'est-à-dire la dose et la répartition chronologique. Ces 3 facteurs cherchent à obtenir le même but : détruire le plus possible les tissus malades, les germes pathogènes en respectant au maximum les tissus sains de l'organisme. Pour la radiothérapie ces trois facteurs sont :

— **La longueur d'onde**, dont le rôle avec la distance est d'apporter la plus grande énergie à la profondeur voulue en respectant ainsi les tissus sous et sus-jacents ;

— **La dose**, dont le rôle est de détruire la lésion ;

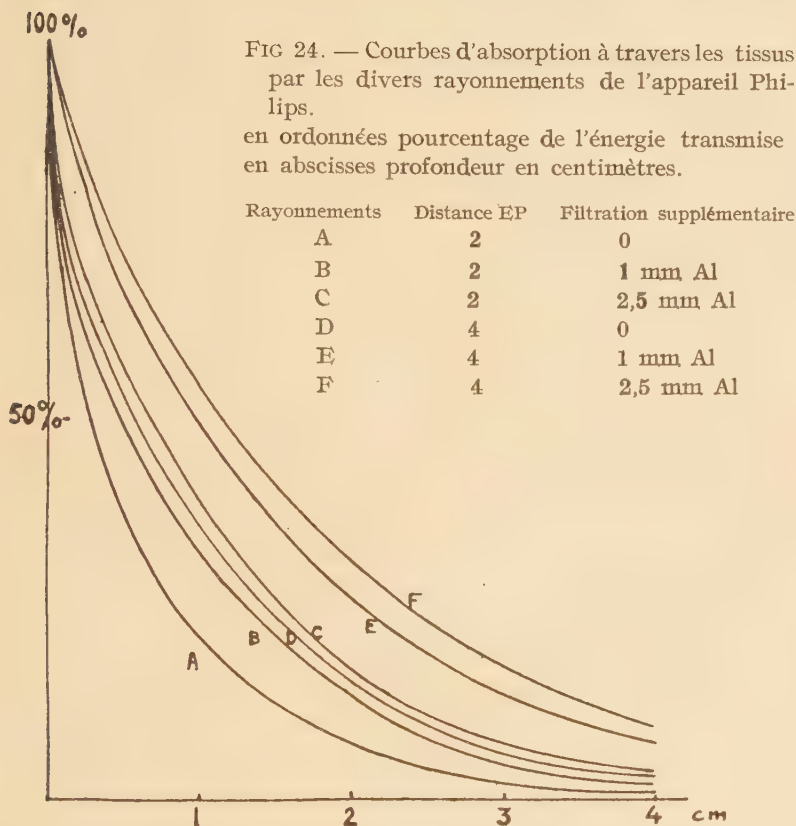
— **La répartition chronologique** qui cherche, comme la dose et la longueur d'onde, à détruire les cellules anormales et à respecter les tissus sains.

1^o) **Qualité du rayonnement.**

Nous avons montré que la qualité d'un rayonnement était caractérisée soit par la courbe spectrale, soit par la courbe d'absorption ou bien par certains nombres (p.). Lorsque la radiothérapie de contact utilise l'appareil Philips, le médecin dispose de plusieurs rayonnements désignés par les lettres A,B,C,D,E,F.

La qualité est indiquée par la courbe d'absorption dans les tissus (fig. 24), cette qualité dépend de la répartition de l'énergie suivant la profondeur et nous avons montré qu'elle intervenait uniquement pour apporter le maximum d'énergie à

une distance donnée. A chaque profondeur correspond un faisceau donnant la plus grande absorption et par conséquent le meilleur rendement. D'après les courbes indiquées, tous les traitements par radiothérapie de contact peuvent être faits



à l'aide des rayonnements A,D,E, uniquement puisque les rayonnements B,C,D, sont trop voisins pour apporter une modification ; mais le D donnant, toutes proportions gardées, une plus grande dose (1.900 r/m), de même le F se confond avec le E et le rayonnement E à la plus grande dose en valeur absolue.

Quelles variétés de rayonnements faut-il employer ?

La qualité dépend du genre d'action que l'on veut rechercher. Si c'est surtout une action caustique ce sera toujours le rayonnement A, quelle que soit la profondeur ou l'épaisseur de la lésion. Au contraire, si on recherche plutôt une action sélective en profondeur ou en surface, alors le rayonnement D, ou E pourra être utilisé selon la profondeur même. Les courbes de la fig. 24 donnent les indications suivantes selon les profondeurs.

Entre 0	et 0,5 centimètre	Rayonnement	A, B
»	0,5 et 1,5	»	C, D
»	1,5 et 3	»	E, F

Au delà de 3 cm. la radiothérapie de contact n'est pas à conseiller.

Ces résultats déduits directement des courbes d'absorption confirment les déductions théoriques exposées p. 98.

2°) Quantité de rayonnement ; dose totale en surface.

a) DOSE UNIQUE.

Nous nous sommes inspirés de l'ordre de grandeur donnée par VAN DER PLAATS sur la dose cellulicide. Cet auteur admet qu'il faut que les cellules reçoivent 3.000 r pour être toutes détruites. Les courbes d'absorption de la page 125 ou le tableau I permettront de faire le calcul pour la dose à donner en surface. Pour faciliter les calculs il est plus commode de tracer à une grande échelle sur du papier quadrillé les valeurs exactes absolues et non les pourcentages, pour une minute d'irradiation et les divers rayonnements A,D,E et faire une règle de trois.

Il existe aussi un jeu d'abaques permettant d'obtenir peut-être plus rapidement la dose en surface et le nombre de minutes de la séance. Personnellement nous les avons abandonnés. Il est d'ailleurs illusoire de vouloir faire des calculs trop précis, puisque les données, c'est-à-dire la profondeur de la lésion et la dose cancéricide ne peuvent être connues que d'une façon approchée. La profondeur exacte est très difficile à connaître et une différence dans l'appréciation d'épaisseur du

néoplasme entraîne des différences assez grandes pour la dose en surface. Ainsi l'épaisseur est estimée à 5 mm. et la dose à cette profondeur devant être 3.000 r, il faut donner en surface 6.000 r environ ; si cette épaisseur avait été estimée au contraire 7 mm. il faudrait donner 9.000 r en surface pour obtenir encore 3.000 r à cette profondeur. Donc, dans ce cas une différence de 2 mm. entraîne une différence de dose de 3.000 r.

Répartition homogène de la dose en surface.

Nous avons vu qu'une conséquence de la trop courte distance est la diminution rapide de l'intensité du centre à la périphérie. Avec un diamètre de 2 cm. la dose sur le pourtour n'est plus que les $\frac{4}{5}$ environ de la dose. Certains auteurs ont cherché à corriger ce manque d'homogénéité dans la répartition de la dose par les dispositifs suivants :

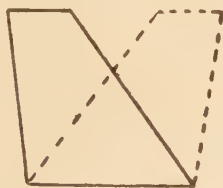


FIG. 25. — Localisateur à double foyer.

1) *Localisateur à deux foyers* (fig 25)

La figure explique aisément le principe par la superposition des 2 faisceaux dont la somme des énergies en chaque point est à peu près constante ; il est basé uniquement sur la loi de la distance.

2) *Localisateur avec filtre en double cône* (fig. 26).

Le principe est basé sur le fait que l'intensité au centre étant plus intense, il faut en absorber une partie d'autant plus élevée que l'on se rapproche du centre, donc augmenter l'épaisseur de l'absorbant au centre.

Ces localisateurs à 2 foyers ou à double cône ne permettent pas l'irradiation à la distance minimum puisqu'il faut les placer entre la lésion et l'extrémité ; nous ne les avons pas utilisés. Nous nous servons de la gamme des localisateurs circulaires livrés avec l'appareil Philips et lorsque la surface n'est pas circulaire ou s'adapte mal nous fabriquons un localisateur en plomb.

En général nous débordons la surface à irradier de 1 mm. à 3 mm. environ pour éviter un sous-dosage à la périphérie.



FIG. 26. — Localisateur à double cône.

b) DOSES MULTIPLES.

Les doses dont nous venons de parler ne sont valables que pour la dose massive unique, mais il existe une méthode de fractionnement de la dose dont nous parlerons tout à l'heure, qui ne permet pas de donner une règle précise pour calculer la dose en surface.

3) Répartition dans le temps.

Il existe au point de vue de la répartition chronologique deux techniques :

- La dose unique.
- La dose fractionnée.

I. — Dose unique : Cautérisation (Méthode VAN DER PLAATS).

a) Principe.

Cet auteur admet que seule compte la dose absorbée, que les cellules cancéreuses les plus profondes, situées à la limite du tissu sain doivent recevoir une dose d'environ 3.000 r.

Comme nous venons de le dire, il faut calculer ensuite la dose à donner en surface et le temps d'irradiation. Peu importe que les cellules néoplasiques plus superficielles reçoivent un surdosage puisqu'il faut aussi les détruire. Ainsi VAN DER PLAATS donne 47.000 r sans filtre pour traiter un néoplasme cutané qu'il estime s'étendre jusqu'à 2 cm de profondeur, et la durée de la séance est d'environ 6 minutes.

Cette action de la radiothérapie de contact se rapproche de la diathermo-coagulation ; mais les radiations utilisées ont l'avantage de garder une certaine électivité que ne possède pas la chaleur. En effet, à la limite du tissu sain et du tissu pathologique les radiations s'amortissent moins vite et peuvent agir encore sur les cellules cancéreuses, plus sensibles que les cellules saines, qui commencent à essaimer. Action caustique en surface, action sélective en profondeur, telle est la formule qui peut résumer la méthode de la dose unique, massive.

b) *Avantages.*

Les avantages découlent de la brièveté du traitement. En une seule séance de quelques minutes, un cancroïde de la face est traité. Le patient n'est pas obligé de revenir ou d'être hospitalisé, en un mot c'est un traitement économique pour le malade, le médecin, la collectivité. C'est une des raisons qui nous fait employer cette cautérisation chaque fois que nous le pouvons ; le malade est revu 2 mois après pour juger si le traitement a été suffisant, et faire une nouvelle irradiation si cela est nécessaire.

Cette courte durée de l'irradiation permet aussi son emploi pour les néoplasmes profonds mis à nu par le chirurgien.

Jusqu'à maintenant les débits utilisés en radiothérapie courante, étaient trop faibles ; et les irradiations pour être efficaces exigeaient un temps trop long sur la table d'opération, une prolongation dangereuse à l'anesthésie.

Nous étudierons plus loin l'emploi de la radiothérapie de contact pour les lésions profondes.

c) *Inconvénients*. Cette méthode n'est utilisée en principe que pour les lésions qui ne sont pas recouvertes par du tissu sain.

Comme nous l'avons montré, la moindre erreur sur l'épaisseur de la tumeur entraîne des erreurs importantes sur la dose totale en surface qui risque d'être, ou trop faible — et alors il y aura récidence — ou trop forte et alors quelquefois apparition de radionécrose.

II. — Doses fractionnées : Méthode de CHAUL.

Si la méthode de la dose unique de VAN DER PLAATS rapproche de la diathermo-coagulation, la méthode du fractionnement de la dose (technique de CHAUL a voulu se rapprocher de l'action du radium.

Cet étalement de la dose, nous l'avons indiqué, a pour but d'augmenter encore la différence de sensibilité entre les tissus normaux et anormaux ; les cellules anormales ayant d'une part, plus de chance d'être surprises au moment de leur plus grande vulnérabilité aux rayons et d'autre part leur restauration étant moins rapide.

Ce fractionnement peut se faire de 2 façons :

1^o) — La répétition chronologique est fixée avant le traitement :

a) *Dose quotidiennes égales*. — En général CHAUL pour chaque cas détermine un plan d'irradiation : plan d'irradiation qui est basé sur les expériences antérieures. Par exemple, à un cancer ulcérant de la face il donne 600 r par jour pendant 10 jours. L'échelonnement se fait sur 10 jours et les doses sont identiques.

b) *Doses lentement décroissantes*. — Cette technique de FRANCFORT ou de HOLFELDER utilise au début de fortes doses d'attaque pour atteindre efficacement la tumeur et empêcher l'accoutumance aux rayons ; mais pour profiter des avantages de l'allongement du traitement, les doses partielles sont dimi-

nuées ou les intervalles sont augmentés. En radiothérapie profonde, les auteurs multiplient les champs, ce qui est rarement possible en radiothérapie de contact, en dehors du néoplasme des lèvres, et utilisent la compression, chose inutile pour les lésions superficielles.

Voici 3 exemples de cette technique pour un cancroïde de la peau :

Jours	Doses partielles en r (mesurées dans l'air)		
1	600	1.000	1.200
3	500	800	800
5	400	600	
8	400	400	
10	400		
12	300		
15	300		
17	300		
19	200		
22	200		
24	200		
26	200		

2°) — La répartition chronologique est précisée en cours de traitement suivant la réponse de la tumeur.

BODE présente une technique basée sur une réponse immédiate de la tumeur. Une dose quotidienne de 500 r est donnée à la surface du néoplasme jusqu'à ce qu'une réaction érosive apparaisse, et le traitement est interrompu seulement quand la tumeur montre une tendance nette à reculer. Au contraire, dès que la réaction cancéricide diminue, le traitement est continué jusqu'à complète disparition.

CONCLUSION :

Il nous est difficile de donner une opinion définitive sur ces différentes posologies puisque notre expérience n'est pas suffisante. Cependant, voici quelle est notre conduite actuellement :

a) — Pour une tumeur superficielle de petit volume

dont un seul champ plus petit que 2 cm. de diamètre suffit à couvrir l'étendue et dont la profondeur appréciée ne dépasse pas un centimètre dans une région où l'irradiation des tissus sus et sous-jacents ne présente pas de dangers, alors nous utilisons une dose unique massive calculée comme nous l'avons indiqué. Cette dose unique ayant de nombreux avantages et pratiquement aucun inconvénient dans ces conditions.

Nous verrons plus loin comment l'association de la radiothérapie de contact à d'autres moyens thérapeutiques permet encore l'emploi de la dose unique, même pour des volumes importants

b) — Au contraire, pour une tumeur de volume trop important, soit parce que l'étendue exigera plusieurs champs avec risques de superpositions, soit parce que la profondeur dépassant le centimètre est mal appréciée, l'utilisation du fractionnement de la dose permet un traitement plus souple qui peut se modifier pour mieux s'adapter.

IV. — LES ACCIDENTS.

Les accidents sont très rares puisque le volume irradié est petit, de quelques centimètres cubes.

a) *Au point de vue général.* Il ne se produit pas le « mal » des « rayons » qui est en réalité le mal des irradiations pénétrantes sur une grande étendue, c'est-à-dire l'irradiation d'un grand volume. Le patient ne présente pas après les irradiations le moindre trouble, son appétit, son sommeil ne sont pas troublés, même avec de très fortes doses de 30.000 r ; aucune céphalée, aucun vertige. La seule chose que nous avons vérifiée c'est une modification de la formule sanguine : dès l'irradia-

tion le nombre de globules rouges et les blancs diminue, pour reprendre le taux normal quelques heures après :

M. M...	8 h. 30	Irradiation à 9 h.	10 h. 30	16 h. 30
Globules rouges ..	4.420.000	»	4.040.000	4.300.000
Globules blancs ..	3.400	»	2.500	3.600
M. D... A...				
Globules rouges ..	4.510.000	»	4.180.000	4.200.000
Globules blancs ..	5.500	»	4.600	5.700

b) *Au point de vue local.* Les accidents locaux ne s'observeront que sur la peau ou les muqueuses ; rarement sur les tissus sous-jacents à cause de la forte absorption en surface. Malgré les fortes doses données les accidents sont rares. Celui qui s'observe et dont nous avons eu un exemple, est la radiodermite aiguë, encore appelée ulcère roengennien et qui est en quelque sorte une radionécrose précoce analogue comme lésion à la radionécrose tardive de la radiothérapie profonde.

a) **Radiodermite aiguë** : ulcère roengennien.

Symptomatologie. Normalement la cicatrisation doit être achevée environ 2 mois après l'irradiation ; l'ulcération creusée par la cautérisation doit être comblée et l'épiderme régénéré. Ce processus se fait sans douleur en dehors d'un léger prurit intermittent. Au contraire, cette évolution peut se faire avec une *extrême lenteur* avec des alternances vers la cicatrisation ou vers la nécrose et ainsi pendant plusieurs mois. L'ulcération est bien limitée, *son fond est jaunâtre*, ne saigne pas, elle est *douloureuse*. L'*infection* vient se surajouter car ces tissus nécrosés se défendent mal et constituent un milieu de culture.

: Mais certains troubles peuvent aussi apparaître suivant le siège de la lésion. Ainsi nous avons observé, après irradiation de la langue outre les phénomènes précédents, de la dysphagie, une salivation fétide et abondante et une douleur très vive.

En général adénopathie du type inflammatoire : rapide, douloureuse, volumineuse. L'état général ne peut être atteint.

La pathogénie pourrait être la suivante : l'irradiation massive frappe *un volume important du tissu* ; l'importance de ce volume est due à la fois à la surface de la porte d'entrée qui exige plusieurs champs et à la profondeur atteinte, profondeur d'autant plus grande que la dose en surface est plus élevée, en particulier si les champs chevauchent, et que la filtration est elle-même plus élevée. Au centre de ce volume la nécrose de tous les éléments, cellules, vaisseaux, nerfs etc... est complète tandis que vers la périphérie l'atteinte est moins profonde, moins généralisée. On pourrait dire qu'au centre les éléments ont subi la cautérisation et sont morts ; au contraire vers la périphérie les éléments frappés de stupeur sont dans un état intermédiaire entre la vie et la mort. S'il se produit un ensemencement de cette région par des germes plus ou moins virulents, comment l'organisme va-t-il réagir localement ? Quelle sera la réaction de cette région à l'infection ? Au milieu de ce volume les germes infectieux trouvent un excellent milieu de culture et les défenses de l'organisme ne peuvent pas les atteindre puisqu'il n'existe ni cellules vivantes, ni vaisseaux ; sur les bords encore les tissus plus ou moins atteints selon qu'ils sont rapprochés ou éloignés du centre réagiront mal contre les germes. Un organisme se défend localement par l'élimination du corps étranger, ce corps étranger pouvant être les cellules mortes d'un tissu et cette élimination exige un bon état des tissus environnants. Or le centre de volume irradié est bien nécrosé et infecté, mais les tissus qui l'entourent sont en mauvais état pour faire l'élimination ; le reste du volume n'est pas assez atteint pour être éliminé comme un corps étranger mais l'est suffisamment pour ne pas se défendre lui-même. Il semble que la lenteur de cette évolution est due à cette barrière que constitue les tissus intermédiaires entre les tissus complètement nécrosés du centre et les tissus parfaitement sains de la périphérie ; ces tissus sont trop malades pour réagir efficacement, mais ne sont pas morts pour constituer un corps étranger que l'organisme cherchera à éliminer.

Etiologie. Peu importe l'explication, cette complication qu'est l'ulcère roëntgennien exige pour se produire en radiothérapie :

1^o) L'irradiation d'un volume important, importance due à la fois à une plus **grande surface** de la porte d'entrée et à une grande profondeur suffisante c'est-à-dire à une **dose élevée**.

2^o) **L'infection surajoutée.**

Ce sont ces deux facteurs qui semblent nécessaires ; une prédisposition d'ordre général tel que l'état scléreux peut favoriser un tel accident, mais c'est surtout l'état local. Par exemple dans le traitement des cancers de la langue, l'ulcère roëntgénien peut se produire avec des doses et des champs plus faibles que sur la peau, parce que la langue baigne, dans un milieu septique, l'ensemencement est continu et de plus elle est soumise à de multiples traumatismes dont les plus importants sont dus au frottement contre des chicots.

Prophylaxie.

Si nous admettons comme conditions d'apparition de cette radionécrose précoce des tissus mous : une surface d'irradiation large, une dose élevée, une infection surajoutée les moyens prophylactiques en découlent :

1^o) Avant l'irradiation.

Si la région est étendue, irrégulière, il faut déterger et désinfecter en particulier par une irradiation de la langue, il faut soigner le mauvais état de la bouche enlever les chicots, arrêter la pyorrhée alvéolo-dentaire.

2^o) Pendant l'irradiation.

Si la surface de la lésion exige la multiplication de champs et si la dose par champ est d'une dizaine de mille roëntgen, éviter soigneusement la superposition des champs.

Si les lésions cutanées sont très rapprochées d'un plan osseux, comme dans la région mastoïdienne ou orbitaire, le rayonnement diffusé par là augmente la dose dans le volume ; et les doses doivent être calculées avec prudence.

3°) Après l'irradiation.

Continuer les soins de propreté et de désinfection de la peau et des muqueuses.

Traitement.

Nous n'avons pas d'expérience personnelle mais le traitement des radiodermites après irradiation pénétrante peut être utilisé à moins qu'en dehors de soins de propreté, le meilleur traitement soit de n'en pas donner.

La *désinfection* peut se faire par des lavages à l'eau bouillie, irrigation au sérum physiologique ou quelques antiseptiques légers tels que le bleu de méthylène à 1 % mais se méfier des antiseptiques énergiques.

La *cicatrisation* a été aidée par de nombreux moyens d'efficacité variable : corps gras avec acide élaïerinique, extrait du suint du mouton pommades à base d'insuline, de vitamine A et D. Les Américains proclament la feuille de l'Aloe vera appliquée fraîche en nature et les pommades radio-actives.

Evidemment la radiathermie, les infra-rouges ont été utilisés. Enfin l'exérèse chirurgicale s'impose lorsque l'ulcération dure depuis 6 mois ; elle doit être large et passer en tissu sain.

Contre la douleur trop vive les anesthésiques à base de cocaïne se sont utilisés, mais sont d'un effet temporaire et souvent la douleur paraît ensuite plus intense.

En dehors de cette radionécrose cutanée précoce, indiquée comme *très rare* par les auteurs allemands et anglo-saxons nous signalerons aussi pour les éviter les accidents oculaires osseux, cartilagineux.

b) **Accidents oculaires** qui peuvent se produire dans les irradiations pour cancer des paupières ou des angles de l'œil.

Les parties les plus sensibles de l'œil sont les membranes antérieures, qui irradiées à faible dose présentent les lésions de conjonctivite ou de kératite simple ou ulcéreuse. Il faut donc protéger l'œil avec une lame de plomb, écarter la paupière

dans la mesure du possible et faire un localisateur exactement approprié à la région et à la lésion ; ou utiliser la technique de la lentille de verre recouverte de plomb.

c) **Chondroradionécrose.**

PENDERGRASS dit que les cartilages ne paraissent pas aussi bien supporter les radiations du contact que les autres radiations plus pénétrantes mais la raison en est toujours la même c'est la plus grande absorption d'énergie par les cartilages du nez ou de l'oreille qui les font paraître encore plus sensibles. Aussi l'utilisation de la thérapie de contact pour les cancers de l'oreille doit être très prudente pour ne pas produire une chondronécrose, affection douloureuse et désespérante favorisée comme toute radionécrose par l'infection.

Quant aux radionécroses tardives c'est-à-dire une radionécrose qui apparaît après quelques mois ou davantage alors que les tissus ne présentent rien d'anormal depuis l'irradiation, les auteurs n'en signalent aucune.

V. — CONDITIONS PARTICULIÈRES A CHAQUE LÉSION ET LES RÉSULTATS OBTENUS

Les lésions qui relèvent de la radiothérapie de contact sont les néoformations surtout superficielles, les états précancéreux et quelques dermatoses.

Nous donnerons les principaux résultats des auteurs étrangers et les nôtres. Nous utiliserons évidemment les statistiques et nous nous en excusons presque, car sans les considérer comme la forme scientifique du mensonge nous n'ignorons pas que les cas ne s'ajoutent pas arithmétiquement puisqu'ils ne sont pas identiques et que les malades surtout atteints d'un cancer profond tel que celui du rectum sont rarement comparables.

I. — LÉSIONS SUPERFICIELLES

A) TUMEURS MALIGNES.

a) Epithéliomas primitifs.

Les cancers de la peau ou des muqueuses dermo-papillaires sont parmi les plus fréquents. Comme nous l'avons dit lorsque les conditions de la radiothérapie de contact sont posées, c'est le meilleur traitement.

Voici quelques statistiques :

CHAOUL : Doses fractionnées de 400 à 500 r par jour pouvant aller de 5.000 à 10.000 r.

211 cancers de la peau 98 % de guérison.

153 cancers infiltrants 77 %

Pour 118 de ces malades l'observation s'étend de 3 à 7 ans : sur 89 lésions 80 sont guéries.

17 lésions infiltrées sur 29 sont guéries.

16 cancers de la lèvre sur 17 sont guéris.

BODE : : Sur 296 patients : 98 % de guérison pour les baso-cellulaires traités en une fois ; pour 112 spino-cellulaires 92 % par méthode fractionnée ; les malades ont été suivis pendant 4 ans.

HOED d'AMSTERDAM : Les cancers sont traités par une dose unique de 2.000 r à 7.000 r. Sur 174 tumeurs de la peau, 136 ont été guéries immédiatement : 4 ont été soignées pour récurrence : 2 malades avaient des lésions étendues et sont morts ; 1 avec une lésion très étendue est en bonne santé et 4 ont été perdus de vue.

Dans tous les cas, les auteurs vantent l'esthétique de la cicatrice ; la peau est pratiquement normale ; une légère modification de la pigmentation à la périphérie et une atrophie très nette du derme sont les seuls signes de l'irradiation antérieure, avec légères télangectasies.

WEMBERGER : donne 500 r matin et soir pendant 5 à 6 jours. sur 50 cas baso-cellulaires 100 % guérison.

Quant à nous notre expérience date à peine de 8 mois. J'ai traité personnellement et suivi 13 cancers de la face, 3 cancers de la lèvre et un de la langue dont on lira les observations détaillées plus loin. Après quelques mois il est difficile de parler de guérison d'un cancer mais l'expérience acquise en suivant le traitement des cancers superficiels par le radium permet de se faire une opinion même après quelques mois sur l'évolution du néoplasme. Sur les 13 néoplasmes cutanés, 10 ont été revus après cicatrisation et la guérison nous semble définitive ; un est en observation et les deux autres n'ont pas été revus. La cicatrisation de l'ulcération après traitement du cancer de la langue n'est pas encore terminée ; la cicatrisation semble être retardée par le milieu septique de la bouche.

Nous donnons à titre d'exemples 3 de nos observations caractéristiques :

1) Épithéliomas multiples de la face.

M... âgé de 40 ans, traité antérieurement par le radium pour épithélioma de la commissure palpébrale interne droite et guérison locale. Actuellement petites ulcérations dans les régions malaires, de type malpighien baso-cellulaire ainsi que dyskératoses à dégénérescence maligne sans adénopathie, disséminées sur l'aile gauche du nez, lèvre supérieure etc... Nous faisons 9 irradiations successives au fur et à mesure des apparitions des taches suspectes.

25 Novembre 1942 : sur les régions malaires Dose = 4.500, sans filtre, avec les localisateurs circulaires de 15 mm de diamètre (durée 45 secondes)

Sur le nez, D = 4.500,

3 Décembre 1942 cicatrisation complète, la peau est encore légèrement rouge.

10 Janvier 1943 : les cicatrices sont à peine visibles, la peau paraît plus mince avec au centre quelques traînées blanchâtres cicatricielles.

Ce même malade fut traité en même temps pour d'autres lésions apparaissant sur la face et du même type que les

précédentes. Revu 4 mois après, la guérison paraît certaine avec cicatrice esthétique.

Cet exemple montre, outre l'efficacité du procédé, son économie puisque malgré tous ces traitements la malade n'a pas eu besoin d'être hospitalisé, comme il le fut la première fois lorsqu'il fut traité par curiethérapie.

2) M.X... âgé de 63 ans, présente un épithélioma plan cicatriciel, de forme polycyclique, de dimensions générales 3 centimètres sur 4 avec bourrelet périphérique important et situé sur la région malaire gauche. Trois champs circulaires de diamètre respectifs 2,5,2,1,5 cent. couvrent la lésion. Une erreur fait donner 24.000 r par champ. répétées 3 fois.

Une semaine après les bords sont affaissés, l'aspect de la lésion est rosée. Le malade est revu ensuite plusieurs fois et chaque fois la lésion dont les dimensions variaient sensiblement, tantôt diminuant, tantôt augmentant, présentait, ce fond jaunâtre caractéristique de la radiodermite ou ulcère roentgenien que nous avons décrit. 3 mois après le traitement, la radio nécrose avait le même aspect mais la lésion était devenue douloureuse. Le mauvais état général du patient est dû à une insuffisance cardiaque prononcée.

Ce malade a été revu 8 mois après et la cicatrisation était terminée.

3) Néoplasme bourgeonnant de la face.

Monsieur X... âgé de 68 ans, présente sur la face droite, dans la région sous-orbitaire interne, néoplasme baso-cellulaire, faisant une saillie de quelques millimètres et de diamètre 13 mm. Ce début remontait à deux ans, le « bouton » avait été traité par le pharmacien avec toutes sortes de pommades.

19 Décembre 1942 D = 24.000 r (croûte enlevée à la vaseline) en une seule séance sans filtre, localisateur de 1,5 cm.

24 Décembre 1942 Affaissement de la tumeur, pourtour rouge, suintement jaunâtre.

4 Janvier 1943. La lésion est recouverte d'une épaisse croûte jaunâtre de même niveau que la peau saine. Il existe un fort érythème périphérique.

- 14 Janvier 1943 : début de cicatrisation périphérique.
22 Janvier 1943 : l'épidermisation est terminée, l'épiderme est rosé.
3 Février 1943 : la peau reprend son aspect normal plutôt blanchâtre.

Techniques particulières à certaines localisations :

Nous avons donné les diverses techniques générales et il est inutile d'y revenir, mais nous indiquons certains procédés selon les localisations.

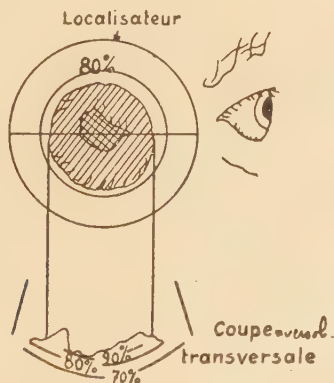


FIG. 27. — Exemple d'application d'un seul champ.

1^o) Champ unique.

Déborder toujours la lésion puisque l'intensité s'affaiblit rapidement vers la périphérie ; donc choisir un localisateur qui débordé de 2 à 3 mm. Si on utilise la dose massive, il faut apprécier la profondeur et en déduire comme nous l'avons expliqué les rayonnements à employer c'est-à-dire le filtre à utiliser, ensuite la dose en surface et par conséquent le temps de l'irradiation. (fig. 27)

2^o) Champs multiples.

Mais il arrive que le patient n'est pas inquiet par son « bouton » qui ne guérit pas depuis plusieurs mois ou qu'une initiative malheureuse le montre au pharmacien qui cache le

mal et tranquillise le malade par des pommades. Alors à ce moment-là la lésion a augmenté de volume et devient irrégulière, un seul champ ne suffit plus pour irradier la tumeur. FLOOD conseille d'appliquer sur la tumeur une feuille de cellophane et d'en calquer le contour. Sur cette feuille on trace ensuite les contours du localisateur qui est circulaire. (fig. 28) Il y a par conséquent chevauchement. Mais il faut faire en sorte que ce chevauchement ne porte que sur la partie périphérique de chaque champ puisque dans cette

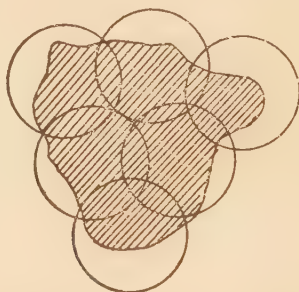


FIG. 28. — Exemple d'application de plusieurs champs.

région la dose est plus faible qu'au centre comme le montre la figure. Une fois sur trois un disque de plomb permet d'éviter les zones qui recevraient plusieurs fois la même dose.

Comme nous l'avons déjà dit, si la profondeur était trop grande, il faudrait associer la radiothérapie de contact et la radiothérapie profonde.

3°) Champs opposés.

Lorsque cela est possible il est intéressant de prendre des portes d'entrées différentes pour atteindre plus efficacement la lésion sans donner des doses trop élevées et qui risquent par conséquent d'être erronées. Ces cas sont rares ; ils se présentent pour la lèvre surtout et quelquefois pour le nez. Pour la lèvre, nous illustrons par des schémas la distribution de la dose (fig. 29).

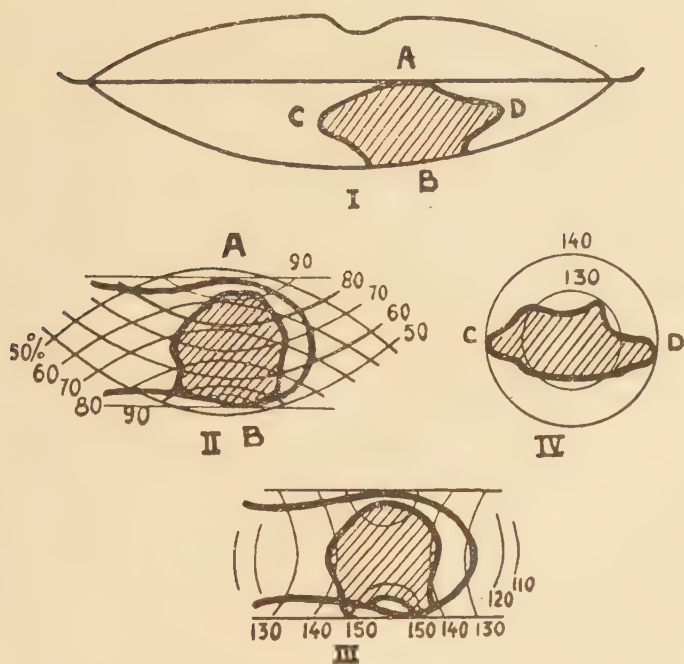


FIG. 29. — Exemple de deux champs opposés pour le cancer de la lèvre (FLOOD).

- I Schéma de la lésion en vraie grandeur.
- II Courbes isodoses pour les deux portes d'entrée.
- III Répartition réelle de la somme des doses.
- IV Répartition de la dose en surface.

4^o) Cancer de l'œil.

Il faut protéger les membranes antérieures qui sont très sensibles pour cela on peut lorsque la lésion est telle qu'un localisateur approprié ne peut pas préserver l'œil, utiliser une lentille de plomb que l'on glisse derrière la paupière.

b) Métastases cutanées.

Les métastases cutanées dit HOED, ont réagi d'une façon marquée et spécialement pour cette affection à pronostic très défavorable notre méthode de traitement a prouvé une acquisition. Personnellement nous n'avons traité que des métastases cutanées du cancer du sein, de la verge et du clitoris. Evidemment ce n'est qu'une radiothérapie palliative, qui faisant disparaître les apparences de la maladie, donne au malade, l'espérance. La technique est toujours la même : sur les bourgeons nous appliquons une dose unique avec ou sans filtre, tandis que sur les plages qui exigent plusieurs champs nous avons fait un fractionnement sur filtration de 1 mm. Al. Les résultats sont bons. Les nombreuses métastases que nous avons traitées sur 5 malades ont pour le moment disparues.

c) Sarcomes de la peau.

Les sarcomes de la peau, quelle que soit la variété sont très rares et nous n'en avons pas soigné. HOED rapporte la guérison d'un sarcome sous-cutané par association chirurgie radio-contact ainsi que d'un mélanosarcome de la choroïde.

D'après ce que nous savons de l'action des radiations utilisées en radiothérapie de contact si nous étions en présence d'un sarcome cutané, quelle que soit sa variété histologique, si ses caractères macroscopiques le permettent, c'est-à-dire si la tumeur est de petit volume et ne paraît pas située à plus de 2 à 3 centimètres de profondeur nous utiliserons la technique de CHAOUl avec filtration maximum. Et selon les dimensions de la néoformation tenant compte uniquement de son volume et de sa situation, nous envisagerions les

diverses associations avec le radium, la radiothérapie plus profonde, le bistouri sans négliger le traitement médical à l'arsenic ou à la quinine.

d) Nœvo-carcimones.

Les nœvo-carcimones sont les cancers les plus graves parmi les cancers cutanés et comme les cancers profonds donnent après traitement des résultats décevants. En 1888 BOULAY a jugé l'action du bistouri en disant « qu'elle est non seulement inutile mais nuisible ». En 1932 DUCUING nous dit que « dans la thérapeutique des nœvo-carcimones le radium jouit d'une mauvaise réputation ». L'électrothérapie affirment BROCO, DANIER, RAVAUT, FERRAND, soit par l'électrolyse soit par la diathermo-coagulation est le traitement de choix. Quant aux rayons X, déclare NADAL, après avoir subi le sort du bistouri et du radium, et être accusé des pires catastrophes, ils semblent grâce à un perfectionnement de la technique aujourd'hui gagner du terrain. Voilà résumée l'évolution des idées sur la thérapeutique si ingrate des nœvo-carcinomes.

Pourquoi les nœvo-carcimones sont-ils radio-résistants ? Nous ne pouvons pas le dire ; on a incriminé la pigmentation, mais certains nœvo-carcinomes très pigmentés sont heureusement influencés par les radiations et d'autres achromiques ne sont pas modifiés ; quant à leur aspect anatomoclinique, nous savons qu'il est sans rapport avec la radio-sensibilité.

L'absence de stroma pourrait, au dire de certains, gêner le traitement radiothérapique. Celui ci devrait son efficacité à la fois à une certaine destruction de certaines cellules par les radiations et à l'emprisonnement des cellules plus profondes par le tissu conjonctif qui se développe et se sclérose sous l'action du rayonnement.

Les applications de la roentgenthérapie aux nœvo-carcinomes ont été utilisés avec des résultats très variables.

a) *Radiothérapie pénétrante.* NADAL préconise le rayonnement engendré à 200 KV et très filtré, imputant les échecs de la radiothérapie à l'insuffisance de la pénétration. Cet

auteur donne 4.000 r par porte d'entrée répartie sur 3 semaines. l'irradiation porte successivement sur la lésion cutanée et les territoires ganglionnaires.

OLIVIER dans sa thèse, rassemble les observations du centre anti-cancéreux de Lyon et avoue que « les résultats ne sont pas probants sur le nœvo-carcinome primitif et la radiothérapie profonde sur les territoires ganglionnaires n'a qu'un but moral ».

b) *Radiothérapie pénétrante.* COSTE pense au contraire que les nœvo-carcinomes étant des tumeurs radio-résistantes, il est inutile de rechercher par un étalement chronologique de la dose, une électivité, mais qu'il faut frapper vite et fort. Aussi utilise-t-il pour les lésions cutanées un rayonnement moyennement pénétrant de 110 KV sans filtration supplémentaire et une dose unique, massive de 3.500 à 4.000 r.

Quant aux métastases ganglionnaires COSTE fait l'irradiation après avoir mis à nu les ganglions et en utilisant les localisateurs spéciaux placés entre les lèvres de la plaie.

COSTE a appliqué sa méthode de 1921 à 1936 et le traitement a été suivi de guérison ou tout au moins de cicatrisation pendant 1 à 2 ans.

PONTHUS sur 7 cas traités ainsi a obtenu trois cicatrisations, dans respectivement 3 ans, 4 ans, et 3 ans et demi. Les deux premières observations étaient des nœvo-carcinomes à leur début, la troisième était une récurrence d'électro-coagulation.

EVANS et LEUCATIA de DETROIT rapportent 30 cas dont 6 désespérés. Ils obtinrent trois guérisons, 3 survivances de trois ans et 18 morts rapides.

En résumé, cette dernière méthode à feu nu donne de meilleurs résultats que la radiothérapie profonde fractionnée.

c) *Radiothérapie de contact.* Nous pouvions penser d'après ce qui précède que cette méthode donnerait aussi quelques résultats lorsque les conditions générales étudiées plus haut sont posées.

CHAOUl donne environ 10.000 r à raison de 400 r par jour. Il a traité 14 cas au cours de 4 années et 11 ont leur tumeur

qui a disparu et cet auteur affirme que les nævo-carcinomes ne sont pas radiorésistants.

WOOBURN MORISON donne aussi environ 10.000 r et annonce 83 % de guérisons.

GRENEIDER a traité 25 cas de cancer mélanique, 52 % sont sans symptômes, 5 patients en observation depuis 1 an, 4 depuis 2 ans, 6 depuis 3 ans, 4 patients en observation depuis 4 ans ; 2 depuis 5 ans.

Personnellement nous n'avons pas eu l'occasion de traiter des nævo-carcinomes par la radiothérapie de contact. Les 3 malades qui se sont présentés au centre anti-cancéreux pour nævo-carcinomes avaient des lésions trop étendues.

En conclusion nous voyons donc que les radiations ne doivent pas être abandonnées et peuvent rendre de très grands services dans le traitement des nævo-carcinomes à condition de les employer judicieusement ; radiations aussi bien engendrées par l'appareil de contact que par les aiguilles de radium. Il nous semble que la radiothérapie peut alors se comparer à l'électrothérapie que BELOT et DUCUING préconisent.

Evidemment pour les nævo-carcinomes comme pour les autres cancers cutanés une association des diverses thérapeutiques indiquées, en dehors des cas bien limités, représente souvent la meilleure solution.

e) Mycosis fongoïde.

Nous plaçons le mycosis fongoïde parmi les tumeurs malignes de la peau, comme GOUGEROT, mais pour nous, ce classement n'a d'intérêt que pour faciliter l'énumération. Au cours de nos lectures nous n'avons pas vu citer un seul traitement de mycosis fongoïde par la radiothérapie de contact, personnellement nous avons traité un cas. C'était un malade qui avait déjà été traité par la radiothérapie profonde avec succès temporaire. Le patient revenait donc pour récurrence. Il présentait sur le membres supérieurs des plaques infiltrées jaunes ou rouges, d'aspect lichenoïde, sans bourgeonnement ni ulcération ; de formes plutôt arrondies ou polycycliques et

de dimensions variables. Leur nombre était d'une dizaine environ.

Nous avons irradié cinq plaques avec des champs de 2 cm. 2,5 cm. ; 2,5 mm. Al ; dose = 660 r par champ (rayonnement C de Philips.) Le malade aurait pendant quelques jours ressenti une légère douleur des régions irradiées, une coloration plus rouge serait apparue, mais peu à peu les plaques infiltrées ont diminué et le quinzième jour le mycosis avait complètement disparu, laissant une légère trace pigmentaire. Ce résultat nous l'avons nous-même observé 1 mois après l'irradiation. Combien de temps durera cette disparition ? Nous n'avons pas revu le malade depuis 7 mois. Il est fort probable que la radiothérapie de contact donne au moins les mêmes résultats que la radiothérapie profonde ou le radium (il a suffi d'une minute par champ) ; et de plus le malade a été heureux de ne point ressentir les malaises généraux consécutifs à la radiothérapie profonde dont LEDOUX-LEBARD signale les dangers et les complications dans le traitement du mycosis fongoïde.

B) ÉTATS PRÉCANCÉREUX DE LA PEAU ET DES MUQUEUSES

La radiothérapie de contact rendra de grands services dans le traitement des états précancéreux de la peau où les lésions sont en général nombreuses et de petites dimensions.

a) Kératoses séniles.

En général la « Crasse des vieillards » n'est traitée que lorsqu'elle devient trop disgracieuse ou dégénère en épithélioma. A ce moment-là on utilise le bistouri, l'électro-coagulation ou le radium. Mais étant donné souvent la dissémination des lésions très variables, soit au moment du traitement, soit plus tard, ces procédés ne sont pas pratiques et même quelquefois impossible à utiliser. Nous avons traité 6 malades âgés, qui venus pour un cancroïde greffé sur une ancienne

kératose sénile, présentaient sur toute la face disséminées çà et là de telles lésions. Sans la radiothérapie de contact le cancroïde aurait été traité et le malade averti que lorsqu'un tel « bouton » ferait son apparition il devrait venir pour subir le même traitement, par exemple la radiumthérapie ; ainsi le malade qui aurait compris la gravité de son mal, reviendrait à chaque dégénérescence maligne subir un traitement plus ou moins long.

Nous rapportons le cas d'un tel malade, assez jeune, ayant été antérieurement traité par le radium, qui venait à la consultation du Centre Anti-Cancéreux pour nouvelles apparitions épithéliomateuses ; sans le **contact** il eut été hospitalisé pour bénéficier de la curiethérapie et comme ces lésions se produisaient régulièrement, ce malade aurait passé de nombreuses journées à la Clinique Curie, puisqu'une application de radium exige un séjour d'une dizaine de jours. Au contraire avec le contact, nous avons traité efficacement et avec cicatrisations parfaites les dégénérescences en cours et les plaques kératosiques. Le malade revient chaque mois pour être suivi ; nous apprécions les bons effets du traitement et comme pendant ce mois de nouvelles kératoses sont apparues, immédiatement nous les passons « au contact » pendant quelques minutes pour prévenir la transformation épithéliomateuse.

Parmi les malades traités pour cancers de la face, 6 avaient ainsi des taches de crasse sénile qui ont été irradiées à ce moment-là. Les doses de 2.000 r à 4.000 r en une fois nous ont donné, semble-t-il, de bons résultats.

Par sa facilité, sa rapidité, sa douceur, la radiothérapie de contact l'emporte de loin sur les autres techniques, puisque la guérison est obtenue dans tous ces cas.

b) Leucoplasie.

Il faut instituer d'abord un traitement général, si la cause apparaît, c'est-à-dire lutter, soit contre la syphilis, soit contre l'alcoolisme ou le tabagisme ou les troubles digestifs. Mais le traitement médical, s'il arrête l'extension des lésions, ne guérit pas la leucoplasie. Il faut donc recourir au traite-

ment local. En dehors des soins de la bouche, la thérapeutique s'est adressée au bistouri et aux radiations de Röntgen ou de Curie.

DUCUING donne la préférence à l'exérèse lorsque la leucoplasie est hyperkératosique et limitée, sinon, mais c'est un « pis aller », au radium ou aux rayons X pénétrants, qui dit-il, sont souvent insuffisants et parfois dangereux. Le « contact » devait être évidemment utilisé. Les auteurs ne sont pas ici unanimes à reconnaître le succès des résultats, et signalent la récurrence.

Nous n'avons eu l'occasion que de traiter 2 malades, mais il n'y a que 3 mois ; actuellement il n'y a pas de trace de la lésion.

De même la *maladie de BOWEN* ou dyskératose lenticulaire, pourrait bénéficier de la radiothérapie de contact, mais nous n'avons pas rencontré dans les publications l'emploi de cette méthode pour cette dernière affection cutanée.

c) **Nœvi.**

Les nœvi ont été traités par cette technique, mais les auteurs qui vantent les résultats ne précisent pas la variété : pigmentaire, tubéreux, vasculaire.

Nous avons traité chez un nourrisson un nœvus angiomateux de petite dimension avec un résultat parfait.

Par contre, un nœvus plan étendu de la face, envoyé par le Service Dermatologique du Professeur MARGAROT a été un échec complet.

Depuis quelques temps on emploie les rayons de BUCKY avec succès, mais il est certain que la radiothérapie de contact doit donner à peu près les mêmes résultats si on emploie un rayonnement non filtré, comme le rayonnement A de l'appareil Philips.

Signalons qu'un cas de neurofibromatose de RECKLINGHAUSEN a été guéri, mais l'auteur MORRISON ne précise pas l'étendue et la variété des lésions. Enfin la radiothérapie de contact peut rendre des services au cours de l'évolution d'un *Xéro-*

derma pigmentosum, sorte de « crasse juvénile » qui donne lieu à la formation de plaques hyperkératosiques, lesquelles deviennent épithéliomateuses.

C) RÉACTIONS CUTANÉES HYPERPLASIQUES BÉNIGNES.

a) **Le cor** n'a pas évidemment la gravité des lésions que nous venons d'étudier, mais pour le malade il n'y a pas de petite maladie ; il doit en être ainsi pour le médecin. La multiplicité des moyens, plus ou moins commerciaux et l'expérience montrent que le traitement efficace du cor au pied n'est pas encore au point. LECENE et MOULONGUET écrivaient en 1937 : « Actuellement encore nous ne savons pas guérir le cor, lésion cependant très pénible et combien fréquente ». Les quelques auteurs, FLOOD en particulier, sont par contre d'accord pour dire que la radiothérapie de contact est le moyen le plus sûr pour les *guérir définitivement* et ne signalent que quelques échecs dans des cas extrêmement étendus. Nous n'avons eu l'occasion que de traiter deux cas chez un infirmier de service. Personne ne va consulter un médecin pour cette infirmité ; nous n'en chercherons d'ailleurs pas la raison. Ces deux cors ont disparu environ un mois et demi après l'irradiation.

On pouvait penser, *à priori*, que cette lésion possédait les conditions pour être traitée efficacement par « contact ». En effet c'est un épaississement de la couche cornée de l'épiderme, parfaitement localisé en surface et en profondeur, ayant la forme d'un clou de tapissier et qui par cette forme même reçoit une très bonne irradiation.

Si le cor est trop saillant, il vaut mieux, comme nous le faisons pour toutes les néoformations, le réduire et l'aplanir par la curette. Selon la profondeur appréciée, nous donnons de 2.000 à 4.000 r en une seule séance, avec un filtre de 1 mm. Al ; il est inutile de déborder. Procédé efficace, rapide, puisque 2 à 3 minutes suffisent, indolore, économique, inoffensif ; peut-être jamais procédé contre les cors eut toutes ces qualités.

b) Les verrues.

Pour les mêmes raisons, ces lésions sont un succès pour le contact. Comme les cors, les verrues rebelles sont traitées par les radiations, mais par des radiations plutôt profondes. Par sa facilité d'application, la radiothérapie de contact sera sans doute le premier et le seul traitement des verrues inesthétiques de la main et des verrues douloureuses de la plante du pied. Les doses sont de 2.000 à 3.000 r avec filtre de 1 mm. Al et après avoir cureté les verrues trop volumineuses. Nous avons traité avec succès, sans trace ni du traitement, ni des verrues, 5 verrues aux mains et 5 verrues plantaires. En Amérique, pour la région plantaire et d'autres régions, un localisateur à succion, basé sur le vide partiel, permet une immobilisation complète du localisateur pendant la séance.

c) Les durillons.

Les durillons ou callosités sont sans doute aussi heureusement influencés, mais nous n'avons pas eu l'occasion d'en traiter.

d) Papillomes.

Les papillomes, à localisation génitale ou quelconque, peuvent bénéficier des radiations de contact. Si ces papillomes sont bourgeonnants, tels que les végétations vénériennes ou les crêtes de coq, il faut d'abord réduire leur volume par cautérisation chimique à la résorcine ou électrocoagulation et ensuite les rayons X mous complètent efficacement ce premier traitement. MAYNEORD donne environ 4.000 r en une fois.

e) Chéloïde.

Cette lésion cutanée intradermique, en forme de plaques saillantes ou de tubérosités, formée par du tissu conjonctif dense, très pauvre en cellules, très riche au contraire en faisceaux fibreux réagit très diversement aux radiations.

MAYNEORD donne 400 r par jour jusqu'à 2.500 r environ, tandis que PANDERGRASS donne chez les jeunes 400 r chaque mois pendant 3 à 4 mois et il ajoute « aucune règle de conduite pour les chéloïdes ».

Les radiations dures ont été employées depuis longtemps par LEDOUX-LEBARD, DEGRAIS, BELLOT, GOUGEROT, NACRE. Notre expérience personnelle est réduite à un seul cas d'ailleurs difficile à traiter parce que très étendu en surface et en profondeur ; le traitement a été incomplet et nous n'en connaissons pas actuellement les effets.

D'après ce que nous avons exposé il semble que les radiations peu filtrées produites à 50 KW seraient plus actives sur cette dermatose inesthétique, spontanée ou secondaire, à une plaie, que les radiations plus dures utilisées auparavant. Le contact pourra être aussi promené sur une nouvelle plaie d'un chéloïdien à titre préventif.

Les autres lésions conjonctives cutanées non néoplasiques, telles que lipomes, fibromes ou dermatomyomes, sont guéries efficacement et simplement par le bistouri ; nous n'avons pas rencontré au cours de nos lectures, l'utilisation du contact pour de telles lésions.

Les angiomes ont été étudiés au paragraphe des nævi et les lymphangiomes cutanés et sous-cutanés sont comparables aux angiomes et relèvent du même traitement.

D) AFFECTIONS DIVERSES DE LA PEAU.

Nous allons indiquer les autres affections qui, au dire des auteurs, ont bénéficié de cette technique ; la liste se modifiera chaque jour, puisque l'expérience jugera les résultats : certaines dermatoses en bénéficieront et d'autres resteront inchangées.

En dermatologie ont été utilisés jusqu'à maintenant, soient les radiations profondes des installations les plus répandues utilisant 200 KW, soient les radiations du radium, soient les radiations très molles depuis l'infra-rouge, l'ultra-violet jusqu'aux rayons de BUCKY émis sous 10 KW. Ces derniers sont absorbés en presque totalité par l'épaisseur de l'épiderme.

La radiothérapie de contact fait donc la transition entre le rayonnement dur et le rayonnement mou. Les radiations

apportent dans l'épiderme et le derme de l'énergie qui va modifier l'évolution des lésions. Le mécanisme général des radiations est rapporté à trois processus : *antitumoral*, caustique, qui était utilisé pour traiter les néoformations ; les processus *anti-inflammatoires* et *fonctionnels* qui interviendront plutôt dans les dermatoses, avec une action trophique, neuro-vasculaire et neuro-endocrinienne.

Cette énergie apportée par les photons sera souvent associée à un traitement par les molécules d'une grande médication dermatologique ; matière et énergie pouvant additionner quelquefois l'efficacité de leurs effets.

Mais les dermatoses étudiées dans ce paragraphe ne sont pas une maladie locale comme l'est un cancroïde de la face au début ou une verrue, pour lesquels un traitement local suffit. Par conséquent, les dermatoses exigeront en outre un traitement général dirigé contre l'agent causal ou le terrain, et c'est ce qui explique que les résultats ne sont pas pour les dermatoses en général aussi remarquables que pour les néoformations cutanées.

a) **Eczéma chronique.**

Quelques cas ont été guéris en se servant de faibles doses, c'est-à-dire deux ou trois fois 200 r.

b) **Tuberculose cutanée.**

Les lupus, bien que temporairement améliorés ne montrent pas des résultats définitifs, tandis qu'un malade a été guéri d'un tuberculide après avoir reçu 3 fois 200 r.

c) **Prurit anal.**

Quelques succès là où tout avait échoué avec 200 r, 2 fois en 24 heures.

D'une façon générale, les auteurs précisent que les doses contre les affections inflammatoires, doivent être très petites et rester au-dessous de la dose érythème, donc en général inférieure à 600 r,

Disons en terminant que les applications de la radiothérapie de contact aux dermatoses ne sont que des essais isolés et qu'en général ces appareils étant placés dans les Centres Anti-Cancéreux et non dans les services de Dermatologie, sont utilisés naturellement et surtout contre les néoplasies. Il serait intéressant d'en faire non seulement une application systématique aux dermatoses améliorées par les radiations très dures, ou ultra-molles de Bucky, tels que l'acné, le lichen chronique, l'érythème induré de Bazin, sycosis... etc... mais aussi à certaines dermatoses que les rayons trop durs ou trop mous n'ont modifié que très peu. En effet le rayonnement de contact s'amortit *dans toute l'épaisseur de la peau*, tandis que le rayonnement de BUCKY est arrêté en presque totalité par le premier millimètre d'épiderme et que le rayonnement très dur des appareils de radiothérapie profonde traverse la peau sans abandonner une énergie appréciable.

De plus, comme nous l'avons dit, pour les dermatoses les doses employées sont très petites comparées à celles utilisées dans les néoformations et le traitement est inoffensif. Enfin il est très rapide, indolore et facile.

Il faudrait cependant apporter une modification dans les localisateurs pour permettre une irradiation plus étendue et plus grande ; la maison Philips a quelques modèles standard qui permettraient de traiter la majorité des cas.

II. — LÉSIONS PROFONDES

La courte distance focus-peau donne un débit tel que les néoplasmes profonds extériorisés par le chirurgien peuvent bénéficier aussi de la radiothérapie de contact.

Nous savons, d'une part, combien le bistouri est souvent insuffisant pour enlever sans trop de mutilations toutes les cellules cancéreuses et d'autre part nous avons vu le succès des radiations dans les cancers superficiels. Depuis longtemps de nombreux essais sont faits pour assurer le rayonnement

sur la lésion profondément située, soit en mettant au voisinage le radium comme dans les cancers du col de l'utérus, soit en irradiant par un rayonnement très pénétrant, comme dans les cancers du rectum. Nous connaissons les résultats de la curiethérapie en gynécologie et les échecs de la radiothérapie profonde pour les néoplasmes viscéraux. De même l'association rayonnement-bistouri est maintenant classique.

Disposant non pas d'une nouvelle arme contre le cancer, mais plutôt pourrions-nous dire d'un nouveau canon pour bombarder de photons les cellules néoplasiques, les auteurs se devaient de l'essayer dans le traitement si décevant des cancers profonds. Mais « Sa Majesté le Temps » seule jugera de tels procédés ; il faut de nombreuses applications, et plusieurs années pour éprouver une telle technique. Aussi la littérature médicale étrangère, la seule qui en fasse mention, est-elle très réduite encore. Actuellement nous ne pouvons donner que les résultats de l'utilisation de la radiothérapie de contact aux cancers de la vessie, du rectum et de l'utérus.

1) Cancers de la vessie.

JEANBRAU écrit en 1936, résumant la discussion de la « Société Française d'Urologie » sur le traitement des tumeurs de la vessie : « Il faut donc attendre d'un perfectionnement de la curiethérapie l'amélioration des résultats dans le traitement des cancers de la vessie ». C'était à ce moment-là la seule méthode intéressante pour traiter les tumeurs de la vessie par les radiations. GOIN donne pour le « contact » la technique suivante (1941) que nous résumons. Au début, cet auteur pratiquait la cystostomie, marsupialisation, mise en place de tube de FRAYER pour nettoyer quotidiennement la plaie. Le tube de « contact » était introduit avec les précautions d'asepsie qui s'imposent. Mais auparavant injection anesthésiante d'Eupal. Le traitement durait 30 jours environ avec 1.000 r par jour, ensuite la vessie était fermée.

L'auteur abandonne cette technique à cause des réactions assez graves qui surviennent après fermeture et du nombre trop grand d'irradiations. Il préconise actuellement la

répétition de l'irradiation 2 à 3 fois au maximum. La durée d'hospitalisation est réduite ainsi à 3 ou 4 semaines. Rachianesthésie ; incision de 6 à 10 cm. au-dessus de la symphyse. La biopsie est faite. Une fulguration aplanit et arrête l'hémorragie. Le tube est introduit après localisateur. La dose donnée est d'environ 8.000 r. La plaie est refermée. Entre le 7^e et le 10^e jour on ouvre de nouveau et on irradie de la même façon. Rarement il faut y revenir une 3^e fois. Les résultats sont encourageants mais pas assez éloignés.

2) Cancer du rectum.

Nous reproduisons « *in extenso* » l'article du Professeur CHAUL publié dans « *Medizinische Wochenschrift* » en septembre 1941 :

I. — Résultats de la chirurgie

Le point de vue où les chirurgiens se placent encore aujourd'hui, quant au Cancer du Rectum (R.C.) est à peine différent de celui qui avait été exposé il y a des années (1925) à propos d'une enquête de la *Medizinische Klinik*. A ce moment dominait un groupe de chirurgiens (ENDERLEN, GULEKE, MANDL, NORDMANN, PETERMANN, ROHDE, SCHLOFFER, SCHNITZLER) qui affirmaient que seule l'opération a quelque valeur contre le cancer du rectum et que la radiothérapie doit être abandonnée comme inefficace et même (ENDERLEN) comme néfaste. Seuls, KORTE, LEXER et SCHNUEDEN, lui faisaient une certaine place dans le traitement post-opératoire. L'insistance des chirurgiens à tenir cette position est démontrée par les publications de FINSTERER à la Société Médicale de Vienne en décembre 1940 et de SCHMIDEN à la 64^e réunion de la Société Allemande de Chirurgie (1940). Tous deux tiennent la radiothérapie pour n'avoir aucune chance de succès.

Que de telles opinions aient encore été professées récemment, paraît bien étrange, si l'on tient compte des résultats indubitables publiés à plusieurs reprises (CHAUL) et obtenus sur des cancers

du rectum inopérables. Ceux-ci auraient bien dû provoquer une révision des positions, ou tout au moins une certaine retenue dans le refus des possibilités thérapeutiques de la radiologie. On doit évidemment admettre que cette attitude négative est fondée, en ce qui concerne les anciennes méthodes traditionnelles de RÖENTGEN et du Radium, leur insuffisance a été depuis longtemps soulignée par les radiologues eux-mêmes (BERVEN, CHAUL, FORSSEL, GAUDUCHEAU, HINTZE, MAISON, VASSILIADI, REGAUD, ROFFO, SCHINTZ entre autres) aussi les jugements modernes sur la valeur de la radiologie ne peuvent être fondés que s'ils sont déduits, eux aussi, des résultats des nouvelles acquisitions méthodologiques. On ne saurait prendre objectivement position quant à la radiothérapie du cancer du rectum si l'on laisse dans l'ombre les résultats obtenus par l'une de ses méthodes d'application qui peut justement donner des résultats particuliers dans le domaine dont nous nous occupons. Le fait est qu'on obtient des guérisons de plusieurs années sur des cancers du rectum, grâce à la radiothérapie de contact.

En tout cas en se basant sur une expérience personnelle, portant sur 200 malades atteints de cancer du rectum qui n'ont pas été radicalement opérés ou n'ont pas été traités, GULEKE refuse expressément toute action prolongatrice de la vie due à l'établissement d'un anus praeternaturalis palliatif. La même position est occupée par FREIHOFFER, CATTLE et PASSLER.

Comme nous avons reconnu l'inefficacité des méthodes radiologiques à l'égard d'un bon nombre de cancers, nous inaugurâmes, il y a plus de dix ans, notre méthode d'irradiation par « contact ».

En dépit des réserves toujours nécessaires en ce qui concerne les effets d'une méthode appliquée depuis relativement peu de temps, aucun doute ne devrait demeurer là-dessus : il ne peut plus être question de l'absence de chance de succès de la radiothérapie ni de la valeur unique du procédé opératoire dans le traitement du cancer du rectum.

Notre opinion est confirmée par la lecture et l'analyse d'une abondante littérature dont les tableaux suivants donneront le résumé. Nous avons d'ailleurs conscience des difficultés que comporte l'appréciation des statistiques de résultats, particu-

lièrement du fait, que par malheur il n'existe encore aucune unité dans les directives qui président à la rédaction des publications statistiques au sens de WINTERS. Par exemple les données de KONIG, sur 3.000 cancéreux traités et guéris pour de longues années, sont imposantes mais de peu d'utilité, puisqu'on ignore de quel nombre total de patients font partie les 3.000 cas. En outre, on devrait éviter de donner au cours d'une seule et d'une même statistique, tantôt seulement des valeurs absolues, tantôt à une autre place, des pourcentages. De même nous considérons comme une source d'erreurs, des publications qui indiquent un certain nombre de patients sortants mais donnent comme base des résultats obtenus, d'autres chiffres, dont il n'est pas toujours facile d'apercevoir l'origine. Par exemple, une statistique de SCHULDT, émanant de la clinique chirurgicale de Kiel, fournit les données suivantes :

Total des patients atteints d'un cancer du rectum...	289
Parmi lesquels ont été opérés.....	122
De ces 122 vivaient au bout de trois ans.....	24
De ces 122 vivaient au bout de 5 ans.....	14

Les résultats relatifs de la guérison durable après trois et cinq ans sont alors estimés eu égard à diverses circonstances à 44,4 % et 25,9 %, le fait est pourtant qu'après trois ans, 24 malades de 122 font 19,6 % et après cinq ans, 14 malades font 11,4 %. Par rapport au total de 289 patients, cela voudrait dire qu'après trois ans, vivaient encore 8,3 % et après cinq ans, 4,8 %. De même la dernière statistique de FINSTERER n'est pas au-dessus de ce reproche.

Aussi nous croyons avec HIEK que dans l'intérêt de l'exactitude indispensable et seule utile dans la question qui nous occupe, il faut toujours attirer l'attention sur la nécessité des statistiques qui permettent de tirer une conclusion claire, générale et positive de l'ensemble des sujets examinés.

Le tableau I ci-dessous ne contient que des statistiques dans lesquelles on peut trouver directement ou facilement :

1^o) — Le nombre de tous les patients atteints de cancer du rectum observés.

2^o) — Le nombre de ceux chez lesquels existait la possibilité d'une opération radicale.

3^o) — Les données sur la mortalité opératoire.

TABLEAU N^o I

N ^o	Noms	Chiffres globaux	Opérables	Morts opératoires
1	BABCOCK	220	102 = 46,7 %	26 = 25,0 %
2	COENEN	151	74 = 49,0 %	25 = 33,3 %
3	COLLER et RANSON	270	132 = 49,0 %	19 = 19,1 %
4	DENK	197	97 = 49,2 %	13 = 13,4 % rd.
5	DUTERICH	364	234 = 64,2 %	33 = 14,1 %
6	EINKEN	1.444	293 = 27,2 %	144 = 48,3 %
7	FINSTERER	388	327 = 84,2 %	68 = 20,8 %
8	BYBYNETTE	243	113 = 46,3 %	22 = 20,0 %
9	JONES	100	57 = 57,0 %	4 = 7,0 %
10	KROLL	123	69 = 53,5 %	14 = 20,3 %
11	KUTNET	1.301	480 = 36,9 %	96 = 20,0 %
12	MANDL	1.704	984 = 57,5 %	115 = 11,6 %
13	MANDL et PACHER	374	220 = 66,4 %	25 = 11,0 %
14	MORTON	296	100 = 34,0 %	32 = 32,0 %
15	MULLER	162	59 = 36,4 %	19 = 32,2 %
16	PASSLER	282	122 = 44,0 %	34 = 27,5 %
17	REDIVITZ	301	143 = 47,5 %	33 = 23,0 %
18	SAUERBRUCH	254	71 = 28,0 %	16 = 23,0 %
19	SCHULTZ	289	122 = 42,0 %	42 = 34,8 %
		8.463	3.799 = 44,8 %	775 = 20,4 %

D'autres statistiques ne contenant pas ces données ou ne permettant pas de les compter n'ont pu être jointes à cet ensemble. Très fréquemment, le montant de l'ensemble des patients a été oublié. Il est vrai que souvent on le calcule grâce aux quotients opératoires communiqués, mais dans ce cas, on ne peut éviter certaines imprécisions. Nous avons compté les valeurs moyennes en « pour cent » d'après les chiffres absolus qui nous étaient fournis.

Tout d'abord doivent être soumises à un examen spécial les perspectives d'opérabilité, car c'est celui-ci qui, finalement, décide d'un traitement chirurgical prometteur pour le malade. En moyenne cette condition n'est présente que dans 44,8 % des malades qui se présentent au traitement. En d'autres termes, de prime abord, plus de la moitié d'entre eux n'obtiendrait pas de guérison par le seul traitement chirurgical. On ne peut nullement suspecter ce fait, parce que certaines cliniques présentent des quotients d'opérabilité beaucoup plus élevés.

Dans notre tableau c'est FINSTERER qui fournit le montant le plus élevé, il est de 84,2 %. Ce chiffre est d'une grandeur étonnante et n'est pas approché, même de loin, par d'autres cliniques, où il y a pourtant aussi de bons opérateurs. On entre ainsi de plein pied dans la supposition que les données de FINSTERER sont fondées sur un ensemble de patients dans lequel tout d'abord un choix très strict a été exercé, ce qui revient particulièrement sensible, lorsqu'on compare les données de SAUERBRUCH ou celles de KUTTNER. Les valeurs les plus basses d'opérabilité de carcinomes du rectum sont fournies par EINKEN avec 27,2 %. Mais la statistique de EINKEN nous paraît suffisamment significative parce qu'elle contient tous les résultats de toutes les cliniques d'un pays (Danemark). Sans doute c'est ce chiffre qui représente la véritable relation moyenne, beaucoup plus que celui des diverses cliniques. Ce serait certainement une tâche de première utilité pour la Commission Impériale de lutte contre le Cancer, que de faire faire un bilan global de toutes les statistiques d'Allemagne, et naturellement pour toutes les sortes de cancer.

Pendant la recherche de la mortalité opératoire, nous avons dû nous limiter, dans l'intérêt de la clarté, à la mortalité générale sous emploi de divers procédés opératoires usuels, sans apprécier les avantages ou les inconvénients relatifs de chacun. D'ailleurs, sans vouloir nous aventurer dans la lutte des opinions professionnelles, nous croyons pouvoir dire qu'il n'y a pas de procédé exact qui s'impose dans le traitement du cancer du rectum. GÆTZE, en particulier, l'affirme en divisant les cancers du rectum susceptibles d'opérations radicales, en 4 groupes, à chacun desquels s'applique un procédé particulier. De cette manière, on trouve une mortalité opératoire primaire de 20,5 % en moyenne (775 décès au cours de 3.799 opérations radicales). Les chiffres du tableau I nous donnent donc l'estimation générale, les résultats moyens suivants :

De 8.463 cancéreux du rectum, 3.799 soit 44,8 % étaient susceptibles d'une opération radicale, de ces 3.799 opérés, 775 moururent de l'opération (20,4 %), 3.024 vécurent après l'opération. Des 8.463, il reste ainsi 3.024 malades, soit 35,7 % qui reçurent une guérison primaire de leur maladie et chez lesquels existait la perspective plus ou moins étendue de la guérison. Ces chiffres moyens se basent presque tous sur des rendements maxima et doivent donc être considérés comme les limites de l'efficacité chirurgicale pour la maladie en question. Mais si nous considérons la statistique d'EINKEN qui porte sur tout un pays pendant plusieurs années, et dans laquelle ne sont pas seulement contenus les résultats de cliniques particulièrement habiles, les espoirs que l'on peut fonder sur le traitement opératoire paraissent particulièrement réduits.

De 1.444 patients atteints de cancer du rectum, 293 soit 27,2 % ont été opérables. Parmi eux, 144 décédèrent de l'opération, soit 48,3 %, il reste donc 149 malades, soit 10,3 % du total, cela veut dire que seul, un patient sur 10 cancéreux du rectum peut être guéri par l'intervention chirurgicale, sans penser à la guérison durable. Pour 9 dixièmes des malades la méthode opératoire est donc impuissante. Le tableau II, ci-dessous contient les chiffres de guérison de 3 et 5 ans, chez les malades ayant subi l'opération radicale.

TABLEAU N° II

N°	Noms	Guérison de 3 ans	Guérison de 5 ans
1	BIER	—	12,6 %
2	CORTIOO	—	18,8 %
3	DIETERICH	32,0 %	21,8 %
4	FINSTERER	—	30,5 %
5	GRASER	16,8 %	—
6	GRASER	12,5 %	—
7	KUTTNER	32,5 %	21,6 %
8	MANDL	—	30,0 %
9	MANDL et PACHER	31,5 %	27,2 %
10	MORTON	—	19,0 %
11	NORDMANN	20,0 %	—
12	PASSER	30,0 %	—
13	REDIVITZ	—	6,1 %
14	RANZI	19,0 %	14,0 %
15	SAUDERBRUCH	40,0 %	30,0 %
16	SCHMIEDEN	27,0 %	—
		26,1 %	21,1 %

Dans ce tableau, faute de données correspondantes, toutes les statistiques du tableau N° I n'ont pu être employées. Mais, afin d'obtenir des valeurs moyennes, portant sur un ensemble suffisant de malades sortants, nous avons introduit les données de cliniques qui ne figurent pas dans le tableau I. Ici nous devons renoncer à reproduire les chiffres absolus, parce qu'ils manquent dans de nombreuses statistiques individuelles. Les chiffres de guérison se rapportent toujours au nombre total des malades sans défalcation des pertes dues à la mortalité opératoire.

Ainsi les chiffres de guérison de trois ans se montent en moyenne à 26.1 %, pour les guérisons de cinq ans à 21 % de tous les malades opérés du cancer du rectum (guérison relative). Après trois ans, des 3.799 opérables ou opérés du tableau I, 992 personnes vivaient encore ; après cinq ans, 798.

Mais les guérisons chirurgicales absolues qui ressortent pour la guérison de trois ans sont donc de 11,7 % (8.463 : 992) et pour la guérison de cinq ans de 9,4 % (8.463 : 798).

Bien entendu, il s'agit ici des résultats des cliniques les plus représentatives, qui peuvent s'appuyer sur la maîtrise absolue des méthodes opératoires éprouvées au cours des dizaines d'années et mises au point, dans leurs grandes lignes, à une époque où la radiologie n'existait pas ; (l'amputation sacrale, d'après KHASKE, descendant de la résection sus-coccyx indiquée par KOCHER en 1874, méthode abdomino-sacrale combinée, provenant de VON GOKMANN).

Si, dans la suite nous voulons donc opposer aux résultats du traitement chirurgical du cancer du rectum les résultats que nous avons obtenus nous-mêmes avec notre méthode d'irradiation, nous devons tenir compte des points suivants :

1^o) — La méthode d'irradiation par contact est encore relativement jeune. Les espérances acquises jusqu'ici avec elle permettent bien de se faire une idée de sa valeur pratique, mais nous sommes convaincus que ses résultats dans la lutte contre le cancer peuvent être essentiellement augmentés par des perfectionnements techniques et méthodologiques ainsi que par une plus vaste diffusion du procédé qui, à l'opposé des mesures chirurgicales est bien loin d'avoir atteint son plein développement. Les rendements croissant d'années en années, nous donnent une pleine confirmation de cette opinion.

2^o) — La brièveté de l'existence et par conséquent de l'emploi du contact contre le cancer du rectum, se basant sur le nombre de nos patients, qui reste naturellement fort en arrière des statistiques chirurgicales en ce qui concerne son étendue.

3^o) — Les cancers du rectum traités jusqu'ici par contact

étaient presque exclusivement inopérables. Tout espoir de guérison chirurgicale était donc exclu. Ce fait mérite une attention particulière dans l'appréciation de nos résultats.

II. Résultats de la radiotérapie de contact.

A) Techniques.

Avant de nous étendre sur les résultats de l'irradiation de près, il est indispensable d'effleurer l'histoire du développement de cette méthode. A l'origine, nous avons incliné pour le dégagement du foyer à irradier, sans exception, avant de procéder à l'irradiation. Cette mise à nu avait lieu par voie sacrale et comportait l'établissement d'un anus artificiel. Elle était la condition essentielle de l'emploi des tubes à irradiation proximale dont nous disposions seulement au début. Il est vrai que nous pouvions aussi par eux atteindre le foyer *per anum*, mais par cette voie, il n'est pas possible d'atteindre toute la partie de la tumeur ni même de mettre convenablement en place le tube, et particulièrement lorsqu'il s'agissait de tumeurs d'une certaine étendue croissant en forme de cercle le long de l'axe du rectum, avec rétrécissement du diamètre intérieur. Seule, la mise à nu nous permettait alors d'atteindre toute la surface de la tumeur d'une manière satisfaisante jusqu'à ce qu'elle ait entièrement disparue. Quand ce but était atteint et que la réaction d'irradiation terminée, nous laissions l'intestin se reformer, le plus souvent avec suppression de l'anus ventral. Pour éviter le rétrécissement cicatriciel, une résection de la section du rectum irradié accompagnait souvent la reformation du tube intestinal. Le fait que cette opération n'avait qu'un caractère plastique est appuyé par les résultats des observations histologiques des parties enlevées qui ne contenaient plus, en aucun cas, de cellules carcinomateuses vivantes. Mais, même dans les cas où nous avons renoncé à la résection ou surtout au traitement chirurgical plastique postérieur, nous n'avons jusqu'à présent observé aucune récurrence, au cours d'une sur-

veillance de plusieurs années chez nos patients délivrés de symptômes cancéreux.

Les incidents opératoires inévitables au cours de la mise à nu sacrale et au cours de l'opération plastique mentionnée, qui, à l'occasion pouvaient entraîner la mort des patients guéris du cancer, rendaient indispensable d'éliminer ces facteurs de danger opératoire. Nous y sommes parvenus par le développement des « tubes à pointe anode », et de diverses dispositions qui permettent une mise en place correcte du champ d'irradiation. La particularité de construction de ce tube réside dans une anticathode conique irradiant dans toutes les directions et pouvant être introduite par l'anus sous contrôle oculaire grâce à un tube endoscopique, même lorsque l'anus est très rétréci par les masses tumorales. Bien entendu, il est souvent nécessaire de soumettre les sténoses à un traitement de laboratoire (crayons laminaire, crayons Hegar, divers catheters de Nélaton). A cela s'ajoute le principal avantage des tubes qui est le rayonnement de l'anticathode dans toutes les directions et qui assure une irradiation régulière de toute la surface de la tumeur. Des « calottes » concentriques ou excentriques graduées permettent de varier la distance foyer-tumeur et les quotients de doses profondes dans les limites déterminées et volontairement étroites, au cas où cela est nécessaire pour quelque raison. Au cas où les tumeurs ne croissent pas en forme d'anneau, nous employons des tubes à écrans métalliques, partiellement étanches, qui épargnent les régions intactes de la muqueuse. Ces tubes à pointe anode, nous ont mis à même de développer la méthode d'irradiation proximale péranales du cancer du rectum. Nous avons donc essentiellement renoncé à la mise à nu du rectum et dans certaines circonstances à l'établissement d'un anus artificiel. Les cas de mortalité opératoire sont donc pratiquement tombés à zéro.

Dans des cas déterminés, l'établissement d'un anus artificiel est nécessaire :

10) — Pour des raisons cliniques : afin d'éviter un ileus qui peut être favorisé par la réaction qui se produit au début du traitement radiologique.

2^o) — Pour des raisons radiotechniques : l'anus artificiel nous met donc à même, en présence d'une localisation adéquate, d'irradier simultanément la tumeur en partant de l'anus naturel et de l'anus artificiel.

L'anus artificiel a aussi l'avantage de l'interruption fonctionnelle du rectum, qui produit, d'après notre expérience, une diminution sensible de la réaction radiologique, grâce à la suppression de l'irritation fécale au cours du traitement ; c'est ainsi que la guérison définitive après la fin de l'irradiation s'en trouve hâtée, en outre les troubles subjectifs du patient s'en trouvent diminués.

Autrefois nous avons constaté en de nombreux cas l'apparition de douleurs extraordinairement vives dans la région irradiée, liées à des ténésmes puissants. Dans l'intervalle nous avons appris à maîtriser ces états douloureux pour le patient, en observant pendant le traitement une ou deux pauses de 8 à 10 jours. Cette interruption comporte l'avantage que la fonte de la tumeur qui continue de se produire au cours de cette pause permet de diminuer notre dose totale primitive. Au cours d'une irradiation continue il est difficile d'évaluer avec sûreté l'étendue des phénomènes de fonte, d'où il résulte dans certains cas une exagération posologique. Si la sensibilité est particulièrement accrue, nous employons une injection épidurale de novocaïne ou d'alcool, par laquelle nous supprimons régulièrement et durablement les douleurs.

L'état général du malade est toujours plus ou moins troublé par la décomposition de la tumeur et la résorption toxique des produits de dégradation. Perte de poids, manque d'appétit, sentiments déprimés, se font remarquer. Mais tous ces phénomènes disparaissent régulièrement après la fin de l'irradiation et sont en général suivis d'une notable amélioration de l'état général et d'augmentation de poids parfois considérable.

Nous prenons essentiellement parti pour la fermeture de l'anus artificiel après extirpation du carcinome et pour qu'un délai approprié soit observé.

Outre la diminution des risques opératoires la méthode péra-

nale que nous employons de plus en plus comme méthode ambulatoire présente l'avantage de simplifier le traitement et de le raccourcir. Il va de soi que son emploi exclusif ne peut pas être exigé, mais de toute façon nous avons réussi au cours de 3 années d'éviter 34 fois la mise à nu sur 35 patients irradiés par anus. C'est seulement dans un cas que nous avons dû pratiquer une sacrotomie accessoire. Dans le même espace de temps, la mise à nu sacrale primaire n'a pas été indiquée par suite d'obturation totale du rectum que chez 5 patients avant le début de l'irradiation.

Ainsi, deux méthodes principales entrent en jeu pour le traitement du cancer du rectum :

1^o) — *L'ancienne méthode combinée chirurgico-radiologique dont l'application n'est ordonnée que dans certains cas étendus.*

2^o) — *La méthode peranale purement radiologique, avec ou sans anus artificiel qui, d'après notre expérience, nous apparaît comme la méthode de choix.*

B) Résultats.

Le nombre de tous les malades atteints du cancer du rectum qui ont passé sous nos yeux dans les dernières 8 années se monte à 139. Si l'on ajoute encore 2 malades atteints du carcinome du sigmoïde, on obtient en tout 141 malades des régions inférieures du gros intestin, qui nous ont été envoyés à la fin de leur traitement et sur lesquels porte notre compte rendu.

17 de ces 141 malades n'ont pas pu subir l'irradiation, parce qu'ils présentaient déjà manifestement de multiples métastases lointaines ou d'autres graves maladies d'accompagnement qui excluaient tout traitement dirigé contre leur cause. Plus d'un tiers de ces patients se trouvaient déjà dans un état tout à fait désespéré. Une inaptitude absolue se trouvait donc dans 12 % des cas, 124 malades soit 88 % du nombre global ont été pris en traitement. Nous en excluons pour nos conclusions 30, dont le traitement n'est pas terminé. En outre 22 autres patients doivent être placés à part, car il s'agit là de malades qui avaient déjà subi,

ailleurs un traitement chirurgical ou radiologique et qui entraient dans notre établissement avec des récidives ou des tumeurs résiduelles. Comme ces cas n'ont pas été irradiés de façon primaire par nous, nous devons les laisser de côté puisqu'il s'agit ici d'une recherche des rendements de notre méthode. Mais nous aurons plus tard l'occasion de reparler d'eux. Ainsi nous disposons définitivement de 72 malades sur lesquels a été entièrement et exclusivement pratiqué le traitement de l'irradiation par contact. D'après les observations effectuées au cours de leur examen, ils se divisent en 4 groupes :

- 1^o) — Désespérés : 7
- 2^o) — Inopérables : 57 (dont 1 carcinome du sigmoïde).
- 3^o) — Cas-limites : 6 (dont 1 cancer du sigmoïde).
- 4^o) — Opérables : 2.

Y compris les 2 cancers du sigmoïde, 37 malades ont été traités d'après l'ancienne méthode combinée chirurgico-radiologique, c'est-à-dire irradiés après l'établissement d'un anus artificiel et l'établissement opératoire d'un accès à la tumeur. Chez les 35 autres, j'ai employé la méthode per anum. Chez ces derniers, nous avons établi 7 fois un anus artificiel avant le début de l'irradiation ; dans 3 autres cas après la fin de l'irradiation, nous avons dû établir un anus artificiel afin de pallier à la trop forte réaction radiologique. Ainsi, 16 malades ont été traités sans anus artificiel.

1^o Résultats de la méthode chirurgico-radiologique.

Malades traités au total :

37

Décès au cours du traitement :

5

Guéris : 16

Parmi lesquels 4 cas limites.

Non guéris : 16

Parmi lesquels 6 cas
désespérés.

a) Parmi les 5 *patients décédés*, après la fin de l'irradiation, d'affections accidentelles, nous avons relevé les causes de décès suivantes :

3 Insuffisances cardiaques avec embolie pulmonaire.

1 Embolie à l'air pendant la fermeture.

1 Perforation spontanée de l'intestin à la place de l'ancienne tumeur avec péritonite.

Le contrôle histologique après autopsie des parties irradiées, n'a présenté dans aucun cas de carcinome résiduel ou de récidives, donc dans ces cas aussi la suppression primaire des symptômes avait été obtenue.

b) 16 patients *n'ont pas été guéris* par l'irradiation. Ils décédèrent pour la plupart de cachexie croissante au cours de la première année d'observation, et dans la moitié des cas environ, de tumeurs métastatiques qui se produisirent dans les divers organes peu de temps après la fin du traitement. Il est à remarquer que 6 patients de ce groupe appartenaient à la classe des désespérés, les 10 autres étaient absolument inopérables.

c) Parmi les 16 *malades guéris de ce groupe*, 4 étaient à la limite de l'opérabilité ; tous les autres étaient inopérables. Des examens, ultérieurs réguliers ont montré une guérison parfaite chez tous, à l'exception d'une seule récidive avec métastases lointaines au bout de 4 ans.

Les durées d'observation se montent à :

Plus de 6 ans chez 2 patients (chez l'un plus de 8 ans).

Plus de 5 ans chez 4 patients.

Plus de 4 ans chez 1 patient.

Plus de 3 ans chez 4 patients (dont 1 carcinome du sigmoïde)

Plus de 2 ans chez 5 patients (dont 1 carcinome du sigmoïde).

2° Résultats de la méthode per anum, purement radiologique :

Total des malades traités :

35

Morts au cours du traitement :

2

Guéris : 25

parmi lesquels 2 cas limites
et 2 opérables.

Non guéris : 8

parmi lesquels 1 cas désespéré

a) Dans ce groupe, nous avons dû compter après la fin de l'irradiation *deux décès de maladies intercurrentes*, mais avec guérison histologique vérifiée.

Les causes ont été les suivantes :

1 Pneumonie à infarctus

1 Insuffisance circulatoire.

b) Chez 8 patients, aucune guérison n'a pu être obtenue. Eux aussi décédèrent presque tous au cours de la première année.

c) Parmi les 25 guéris, il y avait 2 sujets opérables, 2 cas limites et les 25 autres étaient absolument inopérables. Dans tous les cas ici aussi, on a obtenu une guérison primaire, particulièrement sur les cancers proches du sphincter, qui, d'après l'expérience chirurgicale, sont très portés à la récurrence et exige, si l'on adopte le traitement chirurgical, l'amputation du rectum et l'anüs artificiel définitif. Jusqu'à présent, nous n'avons eu connaissance d'aucune récurrence chez aucun malade primairement guéri par le procédé per anal.

Conséquemment à la durée de la méthode, nous ne disposons dans ce groupe, que d'observations d'étendue malheureusement courtes :

4 patients sont observés depuis plus de 3 ans ;

5 patients sont observés depuis plus de 2 ans ;

9 patients sont observés depuis plus de 1 an.

Les 7 qui restent sont observés régulièrement depuis un temps qui va jusqu'à 1 an.

En résumé, nos résultats présentent l'aspect suivant :

Parmi 72 patients, exclusivement traités par l'irradiation de près, 24 soit 33,3 % n'ont pas été guéris d'une façon primaire. Chez 48 soit 66,6 % on a obtenu une absence primaire de symptômes. Parmi ces 48, 7 soit 9,7 % moururent d'autres maladies après la fin du traitement. Au cours de l'autopsie pratiquée avec des témoins histologiques, tous les 7 ont été trouvés guéris de leur carcinome. Il reste 41, soit 56,9 % (de 72 patients) chez lesquels les symptômes avaient disparu, 6 d'entre eux sont sains depuis plus de cinq ans, dont l'un depuis plus de 8 ans ; chez 9 autres, c'est le cas depuis plus de 3 ans. Un patient de ce dernier groupe a succombé à sa maladie après plus de 4 ans de guérison clinique. 19 malades observés de 1 an à 3 ans, sont également libérés de tous symptômes. Les 7 qui restent ont été délivrés de leur cancer par irradiation, mais sont encore dans la première année d'observation.

Le fait qu'un seul patient malgré une disparition primaire des symptômes, a été atteint de récidives avec métastases lointaines, nous permet d'espérer qu'au moins une bonne partie des malades, primairement sans symptômes et observés depuis peu de temps, seront également, à l'avenir, préservés de toute récidive.

Déduction faite des trente cas en traitement, le nombre total des patients admis dans notre institut avec un carcinome rectal est de 111, parmi eux 41 (39,6 %) ont été primairement guéris du point de vue clinique (guérison clinique primaire absolue) après élimination de 17 inaptes, 94 seulement ont été traités. Le quotient de guérison primaire rapporté à ceux-ci (guérison primaire clinique relative) est donc de 43,6 %.

Il est à remarquer que parmi les sujets guéris se trouvait une fraction non négligeable de jeunes, dont aucun n'était opérable. Il faut particulièrement mentionner deux femmes de 21 et 25 ans, guéries respectivement depuis 3 ans, 6 mois et 2 ans, 5 mois, parfaitement aptes au travail.

Par comparaison, si nos III ou les 94 patients irradiés avaient exclusivement soumis au traitement chirurgical, on aurait obtenu les résultats suivants :

Opérabilité radicale : 2 malades, 6 autres cas limites où la possibilité d'une opération radicale n'était pas très vraisemblable du côté chirurgical. Même en les comptant, on aurait obtenu, en mettant tout au mieux, 8 cas opérables sur III soit 7,2 % de possibilités d'une intervention. En comptant à la base une mortalité moyenne de 20,4 %, 6 seulement auraient bénéficié d'une guérison clinique primaire. Cela signifie que les meilleurs résultats à escompter étaient de 5,4 % de guérison absolue et 6,4 % de guérison relative clinique primaire.

Nos chiffres de guérison auraient sans doute été encore plus favorables, si nous n'avions pas eu aussi les 22 patients mentionnés plus haut, qui entraient en traitement avec des récidives et des tumeurs résiduelles, provenant d'opérations passées ou avec des irradiations profondes exécutées autre part et chez qui nous ne pouvions rien tenter avant d'avoir vaincu les plus fortes préventions. Aucun de ces malades ne pouvait être guéri. Pourtant nous avons détruit chez 1/3 d'entre eux (7) la tumeur résiduelle. Presque tous les malades traités auparavant, décédèrent par suite de métastases multiples, mais toujours nous avons obtenu dans une série d'entre eux, avec une amélioration de l'état général, une prolongation de vie de 2 ans et dans un autre cas de 3 années.

III. — CONCLUSION.

Ces résultats obtenus presque exclusivement sur des cancers du rectum inopérables, ne peuvent laisser aucun doute sur l'efficacité de l'irradiation de près, dans le traitement de la maladie en question. Il ne faut donc pas parler de l'impuissance de la radiothérapie et de la seule valeur du traitement chirurgical, d'autant plus que les résultats de l'irradiation de près, ont été obtenus surtout sur des formes inopérables, ainsi soustraites à l'intervention chirurgicale.

Une réponse évidente à la question de savoir si le cancer du rectum inopérable doit être traité par *la radiothérapie de contact*,

semble se formuler ici d'elle-même. Nous sommes convaincus que les résultats seraient grandement accrus si les malades, qui se présentent à l'irradiation de près, n'étaient pas seulement des inopérables et même des cas désespérés, mais aussi des patients atteints de tumeurs peu développées, lesquels sont provisoirement toujours envoyés au chirurgien. Il n'y a aucun doute que chez ceux-ci, les perspectives de guérison seraient considérablement étendues par l'irradiation de près car la suppression de nodules cancéreux locaux, relativement bien délimités, ne constituent pas un problème pour l'irradiation de près et particulièrement lorsque le bon état général du patient s'ajoute aux facteurs de guérison. En particulier pour des cancers près du sphincter qui présentent de très favorables conditions pour l'irradiation de près, il nous paraît essentiel de pouvoir remplacer le traitement chirurgical (sa seule possibilité l'amputation et l'anus artificiel définitif) par une suppression radiologique de la tumeur, sans établissement, ou tout au plus, avec l'établissement temporaire d'un anus artificiel, et la conservation du sphincter. Nous croyons cette conception particulièrement importante, du point de vue social et national, pour les malades en âge de travailler.

Nous pensons que la radiologie exercée de près s'est assurée un rôle directeur dans le combat contre le cancer du rectum. Elle nous offre la possibilité d'obtenir un traitement radical efficace même avec les formes de cancer où les mesures opératoires ne sont pas indiquées ou ne le sont que palliativement. Mais, comme c'est justement le cas de la plupart des malades atteints de cancer du rectum, la *radiothérapie de contact* doit avoir la suprématie sur le traitement chirurgical, pour ces localisations du cancer. Elle doit apporter un traitement prometteur à une partie notable des malades qui sont absolument inguérissables chirurgicalement.

3) Cancers de l'utérus.

CZONTH et HOWARTH donnent 400 r chaque jour jusqu'à l'obtention d'une dose totale 4.000 à 8.000 r et ils complètent l'action de la radiothérapie de contact par la radiothérapie profonde sur les paramètres. Ces auteurs signalent les heureux résultats pour le carcinome du col. Sur 43 cancers du col, 16 nettement améliorés, 14 apparemment guéris.

SCHEOFFER a traité 88 malades atteints de cancer du col et qui sont observés depuis 6 mois à 3 ans et trouve les résultats encourageants.

WEIBEL a traité 56 cancers du col dont 38 inopérables, sur une période de un an, les résultats, dit-il, sont satisfaisants.

4) Autres cancers.

NEUMANN rapporte les 17 cas de cancers de jeunes de 18 à 30 ans : 3 du rectum, 2 du larynx, 3 du sein, 3 des parotides, 4 cutanés, 2 mélaniques. Sur ces 17 malades, 10 étaient sans symptômes de 1 à 7 après.

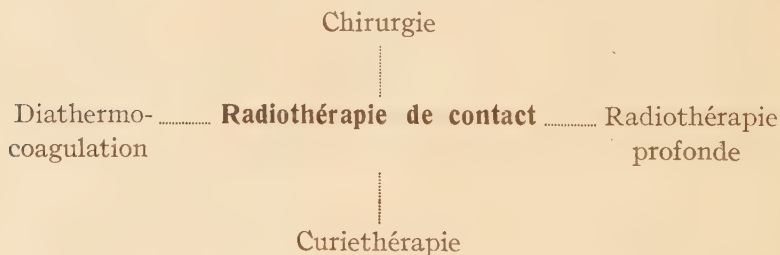
Pour les cancers du sein jusqu'à maintenant la radiothérapie profonde était utilisée avant et après l'intervention chirurgicale : peut-être la radiothérapie de contact permettrait-elle d'irradier pendant l'opération les trajets ganglionnaires et de prolonger ainsi d'une façon plus active et moins mutilante l'action du bistouri.

VI. — LA RADIOTHÉRAPIE DE CONTACT ET LES AUTRES THÉRAPEUTIQUES : COMPARAISON, ASSOCIATION.

Dans ce paragraphe nous nous plaçons uniquement au point de vue tumoral. Nous disposons actuellement pour lutter contre le cancer non généralisé : du bistouri, des radiations, de la chaleur et parmi les radiations on peut choisir, soit les rayons du radium, soit les rayons de la thérapie profonde ou ceux de la thérapie de contact.

Comparons donc la radiothérapie de contact, *lorsque ses indications sont posées*, à la chirurgie, à la curiethérapie, à la diathermie et comparons ces thérapeutiques dans leur principe, leur application, leurs résultats.

Au point de vue principe la radio-contact se place au carrefour de tous les moyens énumérés, suivant le schéma :



En effet son *action caustique*, destructrice de tous les tissus la rapproche de l'action de la chaleur et du bistouri : son *action sélective* sur certains tissus cancéreux la rapproche des radiations du radium ou de la radiothérapie profonde. Comme nous l'avons dit, dans un traitement des lésions mises au contact, l'action est surtout caustique en surface, sélective surtout en profondeur. Tous ces moyens employés contre le cancer ont leurs indications ; mais la maladie par ses formes diverses,

ses localisations multiples exige une thérapeutique appropriée, thérapeutique qui sera obtenue souvent non pas par l'emploi d'une seule technique : bistouri, radium, rayons X ou chaleur mais par l'association et la combinaison judicieuse de ces différents moyens. Ainsi la radiothérapie de contact pourra être employée souvent seule, mais il semble qu'en association elle peut rendre aussi de très grands services.

1^o) **Chirurgie et radiothérapie de contact.**

Pour les cancers de la peau (qui remplissent les conditions du contact), l'exérèse si elle est efficace est inutile puisqu'elle est non sélective, douloureuse, mutilante, aux cicatrices inesthétiques, tandis que le contact radiothérapique possède toujours une certaine sélectivité, non douloureux, économique, non mutilant et les cicatrices, au dire de tous les auteurs sont parfaites.

Mais si les lésions sont trop étendues, avec atteintes de l'os, le traitement chirurgical élargi est indispensable.

L'association contact-chirurgie est appelée à se développer dans les cas suivants.

a) *Néoplasmes cutanéomuqueux profonds et étendus* : après une exérèse large, l'irradiation par roentgenthérapie de contact dans la brèche peut réduire les derniers éléments pathogènes laissés par le bistouri, pour éviter une résection trop dangereuse ou parce que l'infiltration n'est pas perceptible. Ces rayons par leur causticité et leur électivité compléteront ainsi l'action du bistouri.

b) *Épithélioma avec retentissement ganglionnaire*. La lésion initiale est traitée par contact, mais les ganglions atteints sont enlevés chirurgicalement. Nous avons ainsi traité un cancer de la lèvre inférieure (épithélioma métatypique).

c) *Néoplasme profond*. Le fort débit permet, nous l'avons dit plusieurs fois, l'irradiation sur des lésions mises à nu pendant quelques minutes par le chirurgien. Par exemple, dans un cancer vésical, le chirurgien extériorise la lésion. Si la lésion n'est pas trop bourgeonnante le radio-contact est utilisé ; s'il existe

un important bourgeonnement le bistouri enlèvera une grande partie pour réduire la tumeur et permettra ainsi à l'appareil de contact de donner une dose homogène et moins excessive que la dose à donner sur une tumeur irrégulière et épaisse. Nous avons étudié en détail les résultats pour le cancer de la vessie.

2°) Diathermo-coagulation et radiothérapie de contact.

Ces deux méthodes sont très voisines, mais la diathermie n'est que caustique, elle détruit complètement tout ce qu'elle touche et uniquement ce qu'elle touche comme un fin bistouri, tandis que les rayons utilisés ont en outre une action sélective sur les cellules néoplasiques qui commencent à s'infiltrer dans les profondeurs en respectant les cellules normales. Ces cellules qui essaient ainsi ne peuvent être atteintes que par une extension du processus nécrotique de la diathermo-coagulation. Il nous semble que l'efficacité des deux moyens sont voisines et dépendent surtout des opérateurs. Les cicatrices de la diathermie sont parfaites pour un médecin expérimenté ; celles de la radiothérapie de contact pour être esthétiques ne demandent pas d'expérience spéciale. Quant à l'application des deux méthodes, le contact est plus facile pour le médecin, plus rapide, plus agréable pour le malade.

La diathermie et le contact pourront être associés avec succès. Des épithéliomas bourgeonnants et irréguliers seront affaissés et régularisés d'abord par la diathermie, et ensuite la radiothérapie de contact avec une dose moins élevée et mieux répartie continuera d'une façon plus sélective l'action nécrotique de la chaleur. Chez un malade présentant un cancer bourgeonnant du nez nous avons associé les deux techniques.

3°) Curiethérapie et radiothérapie de contact.

Nous avons eu l'occasion de faire le parallèle entre l'action du radium et des rayons à courte distance, à faible voltage. Les courbes d'absorption sont très voisines puisque dans les deux méthodes la distance des tissus au foyer est très petite ; la différence des longueurs d'onde du rayonnement γ et du

rayonnement x n'intervient pas. Seul l'étalement de la dose joue le plus grand rôle : long et continu dans la curiethérapie, tandis qu'il est discontinu dans la méthode de CHAOUÏ, ou même n'existe pas dans la méthode de VAN DER PLAATS.

L'application du radium donne des résultats remarquables pour les épithéliomas sans retentissement ganglionnaires : guérison sûre, cicatrice esthétique. Les résultats doivent être les mêmes pour la radiothérapie de contact. Mais lorsque les indications du contact sont posées et que l'on peut choisir entre les deux techniques, la radiocautérisation a l'avantage d'être moins douloureuse pour le malade qu'un aiguillage, surtout dans la langue ; d'être très économique, puisque souvent une seule séance de quelques minutes suffit, évitant ainsi au malade d'être hospitalisé et de plus meilleur marché que le radium. Un seul appareil Philips dans un centre anti-cancéreux permet de traiter un très grand nombre de malades, puisque la durée complète du traitement n'est que de quelques minutes. Mais tandis qu'un appareil peut cesser de fonctionner pour une raison quelconque le radium a une vie très longue que rien ne peut troubler : son rayonnement est uniquement fonction de temps et de sa masse. Sa période, c'est-à-dire le temps au bout duquel la moitié de la substance s'est modifiée, est de 1.580 ans.

Peut-on envisager que la radio-contact remplacera complètement la curiethérapie en surface ?

Nous ne le pensons pas. Les indications du contact et du radium couvrent des plages thérapeutiques qui ne se superposent qu'en partie ; et actuellement nous ne nous aventurerions pas à traiter un épithélioma irrégulièrement infiltrant, de volume assez important, par une cautérisation au rayons X. Un aiguillage bien fait donne une répartition plus homogène de la dose à l'intérieur de la tumeur ; de même pour un cancer du vagin et de l'utérus.

Et si un jour le radium vient à manquer ? Ce jour-là, si la cancérologie ne dispose pas de nouvelles thérapeutiques, les radiations artificielles devront être largement utilisées, mais ces radiations artificielles peuvent être produites aussi bien par

la roëntgenthérapie que par la radioactivité artificielle qui fait chaque jour des progrès.

On peut concevoir dans quelques cas l'association du radium et de la radiothérapie de contact par exemple AKAIBOVSZY utilise cette association dans le cancer du rectum.

4^o) Radiothérapie profonde et radiothérapie de contact.

Nous avons suffisamment comparé les principes de ces deux techniques et leurs indications pour n'y plus revenir. L'association de ces deux techniques peut être posée lorsqu'il s'agit d'un cancer étendu de la face. On commence par le haut voltage à raison de 200 r chaque jour pendant environ 20 à 22 jours et ensuite on utilise le bas voltage qui distribue 4.000 r environ en 20 jours. FLOOD rapporte avec détails un tel cas guéri cinq mois après le traitement. La tumeur bourgeonnante, irrégulière, sanieuse a une forme circulaire dont le diamètre va de l'angle externe de l'œil gauche au tragus de l'oreille gauche.

A la fin du traitement par le haut voltage la tumeur est plus propre, elle est détergée et en partie affaissée. On fait ensuite la radiothérapie de contact et cinq mois après guérison complète.

Pour les cancers profonds, tel celui du col de l'utérus, de nombreux auteurs, comme SCOTH, HAWATHS vantent cette association.

CONCLUSION. — Comme nous l'avons dit, la radiothérapie de contact est une thérapeutique qui fait la transition entre toutes les autres thérapeutiques contre le cancer. Elle est située entre le radium et la radiothérapie profonde ; entre la diathermie et le radium, entre le bistouri et le radium.

VII. — PROTECTION.

Les rayons X, lorsqu'ils sont mal répartis, sont dangereux aussi bien pour le malade que pour le médecin, et les débuts de la radiologie comptent un grand nombre de victimes. Leur danger est dû au fait qu'ils traversent plus ou moins un grand nombre de corps et peuvent, à la longue, produire sur le personnel traitant des accidents généraux et locaux.

L'organisme réagit souvent à un agent thérapeutique en cherchant à diminuer son effet ; aussi les doses reçues, si elles sont espacées comme nous l'avons dit, ne s'ajoutent pas ; il existe pour le rayonnement comme pour les médicaments, une dose liminaire appelée dose de tolérance T qui est définie par TAYLOR « dose maximum de rayonnement X qu'une personne peut recevoir d'une façon continue ou à intervalles répétés sans qu'il en résulte aucun dommage pour le sang ou les organes reproducteurs ».

Cette dose T exprimée en roentgens est de l'ordre de un millionième de l'unité internationale r par seconde : $T = 10^{-6} r$ par seconde ; cette dose T ne fait pas intervenir la qualité du rayonnement ; plus les radiations seront molles moins elles agiront dans la profondeur ; la radiothérapie de contact aura plutôt une action superficielle et, si on définit la dose tolérance par rapport à la dose érythème, les auteurs tels que KAYE, BARKLAY.. etc... admettent qu'elle est égale environ au millième de la dose érythème.

LAMERTON a construit la répartition de la dose de tolérance T dans l'espace ; nous donnons les courtes isodoses T par rapport au tube de l'appareil Philips (fig. 30). Nous voyons combien ces radiations égarées ont une faible énergie, conséquence de la qualité de faisceau utilisé ; elles sont dues théoriquement aux rayonnements parasite, direct, diffus.

1^o) *Le rayonnement parasite* : ce rayonnement engendré par le choc des électrons ailleurs que sur l'anticathode, est absorbé complètement par les parois du tube métallique, les radiations étant peu pénétrantes. Aussi l'enveloppe protectrice du tube des appareils de contact n'a pas l'importance de l'enveloppe nécessaire aux appareils de haute tension. Le tube sera donc allégé et pourra être tenu à la main.

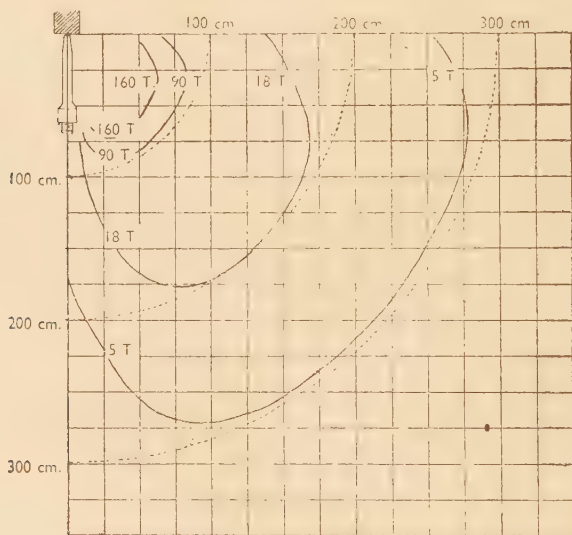


FIG. 30. — Répartition dans l'espace de la dose des radiations égarées. T = dose de tolérance (Lamerton).

2^o) *Le rayonnement direct* : la protection du malade contre ce rayonnement est parfaitement assurée puisque le tube est mis au contact même de la lésion ou à peu de distance, avec localisateurs métalliques.

3^o) *Le rayonnement diffusé* : c'est le rayonnement le plus important des trois. Ce rayonnement représente environ 80 à 90 % des rayons vagabonds d'après BAESTRUP. La peau

et d'une façon générale toute matière rencontrée par les tissus, vont diffuser, mais les radiations utilisées s'amortissent très vite et par conséquent leur trajet étant très court, elles rencontreront moins d'objets diffusants : de plus la diffusion diminue avec la longueur d'onde.

En résumé, d'après ce qui précède, malgré les fortes doses données, la protection du malade est toujours réalisée puisque les temps d'irradiation sont très courts.

Quant à la protection du personnel elle se limite uniquement à celui qui tient le tube puisque dans l'air à 3 mètres du tube elle est presque négligeable. Le médecin qui tient le tube, ce qui n'est pas toujours obligatoire puisqu'un jeu de leviers permet d'immobiliser le tube dans n'importe quelle position, et qui serait obligé de le tenir à l'extrémité pour éviter le moindre déplacement à tout de même intérêt à mettre des gants doublés de plomb et même un tablier approprié si les irradiations sont très nombreuses.

Enfin le danger des hautes tensions n'existe plus dans les appareils modernes. Pour la radiothérapie les cables sont isolés et il existe, entourant tous les fils conducteurs un tuyau protecteur en caoutchouc isolant (SHOCKPROOF).

En résumé, la protection en radiothérapie de contact, aussi bien pour le malade que pour le médecin n'entraîne pas les complications de la protection des appareils de la radiothérapie profonde.

CONCLUSION

La radiothérapie de contact appliquée *seule* ou en *association* avec d'autres thérapeutiques est donc une technique qui présente de *nombreux avantages*. Ce n'est pas une révolution en thérapeutique puisqu'elle emploie les rayons X, mais c'est une façon heureuse de les utiliser et de les asservir à un but de guérison.

Cette méthode fait *la transition* entre toutes les méthodes actuelles pour combattre le cancer ; elle représente une nuance thérapeutique et souvent la guérison est obtenue par les nuances du traitement.

Dans les **néoformations superficielles** de petit volume, elle représente à elle seule le traitement de choix puisque, outre son efficacité et l'esthétique de la cicatrice, cette technique est indolore, rapide, facile à employer, économique.

Si les néoplasies ont un volume trop grand, dû soit au bourgeonnement soit à l'infiltration, alors elle viendra compléter heureusement l'action de la radiothérapie profonde, du bistouri, de la thermocautérisation et même du radium.

Mais par contre dans les **dermatoses** le succès en est variable. Les dermatoses sont souvent une maladie de tout l'organisme à manifestation cutanée et faire disparaître le symptôme cutané sans atteindre la cause profonde ne peut donner que des succès apparents et temporaires. D'ailleurs la radiothérapie à courte distance et à bas voltage permet d'obtenir en dermatologie les mêmes résultats que la radio-

thérapie à grande distance et haut voltage ou les rayons de BUCKY.

Enfin, dans les **néoplasmes profonds**, si décevants puisque le bistouri le plus hardi, le rayonnement le plus pénétrant n'arrivent pas à détruire toutes les cellules cancéreuses, la radiothérapie de contact associée ou non à la chirurgie donne, elle, des résultats encourageants. Par exemple CHAOUL, sur une période de 10 ans, a traité 72 malades atteints de cancer du rectum, la majorité inopérables, et nous avons indiqué les succès obtenus.

Cependant cette méthode, logique dans son principe, intéressante dans ses applications, n'a pas connu la diffusion rapide de tant de thérapeutiques restées sans lendemain. Les auteurs anglo-saxons écrivent qu'il a même fallu de la réclame pour la faire utiliser chez eux. Pourquoi ? Parce que la mode ne perd jamais ses droits et les médecins comme les sages la suivent. Ces dernières années en effet on a cru trouver le dernier cri de la radiothérapie dans les très petites longueurs d'onde et ce fut la course vers les hauts voltages : 400, 600, 1.000 KV et au-delà ; dans cette course, seul a suivi le prix de l'installation.

Actuellement, les nombreux succès obtenus par tous les auteurs et les résultats obtenus personnellement sur une cinquantaine de malades au moyen de la modeste radiothérapie de contact suffisent à répandre cette *technique à bon marché*. Et nous terminerons en rappelant ce qu'écrivait WOOBURN MORISON à ce sujet dans une revue allemande : « *Les aubergistes, dit cet auteur, qui vendent du vin en font la réclame en suspendant une branche devant leur porte, mais les aubergistes qui vendent du bon vin sont suffisamment connus et n'ont pas besoin de cette réclame* » ; et le médecin anglais ajoute, en l'appliquant à la radiothérapie de contact, le proverbe allemand que je traduis mot à mot : « *Bon vin n'a pas besoin de branche* ».

BIBLIOGRAPHIE

- AETENBURG (E.). — The artificial production of mutations by U. V. light. (*Amer. Nat.*, 68, p. 491, 1934.)
- BAUDET. — Ulcère de radiodermite traité et guéri par sympathectomie périartérielle.
- BÉCLÈRE. — Les dangers vrais et supposés de la radiothérapie. (*Paris médical*, p. 445, 2 juin 1917.)
— The penetrating irradiations sickness. (*The Amer. Journal of Röntg.*, p. 499, 1918.)
- BERGONIE-TRIBONDEAU. — *C. R. Société de Biologie*, 57, p. 595, 1904 ; 58, p. 154, 1905 ; 58, p. 284, 1905 ; 62, p. 274, 1907 ; 65, p. 147, 1908.
— *Arch. d'Electr. médic.*, 14, p. 779, 1906.
- BÉTOULIÈRES. — Chapitres IX et XII (Des bases physiques et biologiques de la roentgentherapie, de P. LAMARQUE).
- BIANCHI. — Sur l'action stimulante des rayons X et du radium. (*Revista di Radiologia et Clinica medica*, vol. I, fasc. 2, mars 1929.)
- BODE. — Strahlentherapie, 66-96, 1939.
- BOLL (M.). — L'exploitation du hasard ; certitudes du hasard. (« *Que sais-je ?* » - Presses Universitaires, 1942.)
— Le mystère des nombres et des formes. (*Larousse*.)
- BOREL. — Probabilités et erreurs. (*A. Colin*.)
- BROESTRUP (C.-B.) and BLATZ. — Physical factors of low voltage « Contact therapy ». (*Radiology*, 35, n° 2, p. 198, août 1940.)
- BROGLIE (L. DE). — Matière et lumière ; Continu et discontinu. (*A. Michel*.) — Une nouvelle théorie de la lumière. (*Hermann*, 1940.)
- BROMLEY (J.-F.). — Low voltage near distance X ray therapy. (*Brit. Journ. of Rad.*, XI, p. 289, mai 1938.)
— Remarks of Chaoul Therapy. (*Radiology*, 31, n° 5, p. 547, novembre 1938.)

- BUCKY (G.). — Grenstrahlentherapie. (S. Hirzel, édit., Leipzig, 1928.)
— Grenz-Ray-Therapy. (The Mac Millan Company, edit., New-York, 1929.)
— Radiology, 14, p. 126, 1930.
- CANTI (R.-G.) et DONALSON. — The effect of radium on mitosis in vitro. (Proc. of Royal Society, t. 100, p. 413, 1926.)
- CARDILLO. — Radiologia Med., XXIII, p. 336, mai 1936; The Amer. Journ. Rad., XXXVII, p. 280, février 1938.)
- CHAOUÏ (H.). — Die Behandlung bösartiger Geschwulste durch eine der Radiumtherapie angepasste Röntgenbestrahlung. (Munchen. Med. Wchnsch., 81, p. 235, février 1934.)
— Bermerkungs zu des Arbeit von Schaefer und Witte. (Strahlentherapie, 49, p. 718, 1934.)
— Die Behandlungbosartiger Geschwulste mit der Konzentrierfraktionierten Nahbestrahlung. (Strahlentherapie, 53, p. 202, 1935.)
— Strahlentherapie, I, II, p. 221, 1935.
— Strahlentherapie, 56, p. 40, 1936.
— Cancer du rectum. (Deutsche medizinische Wochenschrift; Presse médicale, 20 février 1943.)
- CHAOUÏ et GRENEIDER. — Strahlentherapie, 60, 239, 1937.
— Strahlentherapie, 66, p. 73, 1939.
- CLARK. — Applied X rays. (Mc Grawhill Booy Cy, New-York, 1932.)
— Critique de la théorie de Crowther. (Journal Gén. Physiology, X, p. 623, 1927.)
- COMPTON et ALLISON. — X rays in theory and experiment. (Mc Millian, ed., London.)
- CONDON and TENIL (H.-N.). — Quantum phenomene in the biological action of X rays. (Journ. of Cancer Research, XI, p. 324, 1927.)
- COUTARD. — Sur les délais d'apparition et d'évolution des réactions de la peau et des muqueuses de la bouche et du pharynx provoquées par les rayons X. (C. R. Soc. Biol., 86, p. 1140, 1922.)
- CROWTHER (J.-A.). — The biological action of X rays. A theoretical review. (British Journal of Ræntgenther., v, XI, p. 123.)
— Some considerations relative to the action of X rays on tissue cells. (Proc. Royal Soc. B., 96, p. 207, 1924.)
— The action of X rays of Colpidium colpoda (Proc. of Roy. Soc. B., 100, n° 704, p. 390, octobre 1925.)
- CSONTH and HOWATH. — Strahlentherapie, 68, 277, 1940.
— Radiology, 68, 125, juillet 1941.

- DALOUS (E.) et LASÈNE. — Sur le processus histologique des radio-épithélites. (*Ann. de Dermato. et Syphil.*, 6, p. 305, 1905.)
- DENIER (A.). — Généralités sur la radiothérapie de contact. (*Arch. Elect. médic.*, 45, p. 273, 1938.)
- DESJARDINS (A.). — Classification of tumors from the stand point of radiumsensitivity. (*The Amer. Journ. of Röntg.*, XXXII, p. 493, octobre 1934.)
- DESSAUER. — Zur Erklärung der biologischen Strahlenvirkungen. (*Strahlentherapie*, Bd XXIV, p. 208, 1923.)
— The question of fundamental biological reaction of radiations. (*Radiology*, 14, p. 1, 1930.)
- DOGNON. — L'action biologique des radiations. Les vues nouvelles et l'action des différentes longueurs d'onde. (*Journal Belge de Radiologie*, XXI, p. 233, 1932.)
- DOUMER. — Traitement des radiodermes par l'acide élaïcrinique. (*Soc. de Rad. Méd. de France*, p. 498, 1931.)
- DUANE (W.). — Effective (*Amer. Journ. of Röntg.*, IX, p. 167, 1922 ; *Proceed Nat. Acad.*, XIII, p. 668, 1927 ; *Amer. Journ. of Röntg.*, XX, p. 241, 1928.)
- DUCUING. — Cancerologie. Collection des précis médicaux. (*Masson et Cie*, 1932.)
- ECKEL. — Effets des rayons limites sur la chute des leucocytes. (*Strahlentherapie*, VI, 525.)
- FAILLA (G.). — Theory of the biological action of ionizing radiations. (*The Amer. Journ. of Röntg.*, 89, p. 202, 1937.)
- FERROUX, JOLLY et LACASSAGNE. — Modification de la radiosensibilité de l'ovaire chez la lapine par la ligature temporaire des vaisseaux pendant l'irradiation. (*C. R. Soc. de Biol.*, 945, p. 646, 1926.)
- FERROUX, REGAUD et SAMSSONOW. — Augmentation de la radiorésistance de l'épithélium séminal par de petites doses espacées et répétées de rayons de Röntgen. (*Archives de l'Institut du Radium de Paris*, III, fasc. 8, p. 281, 1936.)
- FLOOD (P.-A.) et SMITHERS (D.-W.). — Short distance low-voltage X ray therapy. (*British Journ. of Radiology*, XII, p. 462, août 1939.)
- GLASSER (O.) et VICTOREEN. — The thimble ionisation chamber. (*Radiology*, 29, p. 341, septembre 1937.)
- GERSHON-COHEN, SHAY et FELS. — The time intensity factor. (*Amer. Journ. of Röntg.*, XLV, p. 600, avril 1941.)

- GOIN. — Cancer de la vessie. (*Radiology*, 37, p. 545, novembre 1941.)
— Technique. (*Radiology*, 36, p. 583, mai 1941.)
— Cancer de la vessie. (*Radiology*, 34, p. 205, février 1940.)
- GOUGEROT. — La dermatologie en clientèle. (*Maloine*, Paris, 1939.)
- GREINER (K.) et NEWMANN. — Cancer mélanique. (*Strahlentherapie*, 66-89, 1939.)
- GUNSETT. — Méthode de Chaoul. (*Bull. Soc. de Rad. Méd. Française*, XXVII, p. 520, 1939.)
- HENKEL (K.). — Statistiques des cancers cutanés. (*Strahlentherapie*, 66, p. 108, 1939.)
- HED (D.). — Some results of irradiation with soft roentgen rays at very small focus-skin distance. (*Acta Radiologica*, XIX, p. 239, septembre 1938.)
- HOLWECK. — Le problème des quanta en radiobiologie au point de vue physique. (*C. R. Acad. Sciences*, CLXXXVIII, p. 197, 1929.)
- HOLWECK et LACCASSAGNE. — Sur le mécanisme de l'action cyto-caustique des radiations. (*C. R. Soc. Biol.*, CIII, p. 766, 1930.)
— Essai d'interprétation quantique des diverses lésions produites dans les cellules par les radiations. (*C. R. Soc. Biol.*, CVII, p. 814, 1931.)
- HUANT. — Radiations et vie. (*Presses universitaires*, 1941.)
- JEANBRAU. — Pathologie chirurgicale, tome I. (*Masson*, 1937.)
- JOHN (F.). — Cancers cutanés. (*Strahlentherapie*, 66, p. 132, 1939.)
- JONES. — The determination from absorption data of the distribution of X ray intensity in the continuous X ray spectrum. (*The British Journ. of Radiology*, XIII, n° 147, p. 95, 1940.)
- LACCASSAGNE (A.) et GRICOUROFF (G.). — Action des radiations sur les tissus. (*Masson et Cie*, édit., Paris, 1941.)
- LAMARQUE. — Les bases physiques et biologiques de la roentgentherapie. (*Masson*, édit., 1942.)
- LAMERTON (L.-F.). — Mesures physiques. (*British Radiology*, vol. XIII, n° 148, p. 136, avril 1940.)
- LEVERE (Mme). — Contribution à l'étude des radionécroses tardives. (*Thèse*, Montpellier, 1942.)
- MAYNEORD. — Mesures diverses physiques. (*Radiology*, 28, p. 641, novembre 1937.)

- MORISON (J.-W.), HUGO et MAYNEORD. — A preliminary not on low-voltage X ray therapy. (*British Medical Journ.*, 2-783, octobre 1936.)
- NEUMANN. — Cancer des jeunes. (*Strahlentherapie*, 68-509, 1940.)
- PACK et GALLO. — *Journ. Medic. Soc.*, New-York, 36, p. 15, janv. 1939.
— Cancers cutanés ; combinaison avec rayons X profonds. (*Radiology*, 33, p. 124, juillet 1939.)
- PENDERGRASS (E.-P.). — Étude générale de la question. (*The Amer. Journ. of Röntg.*, xxxv, p. 101, janvier 1936.)
— Données physiques ; vol. 32, n° 2, p. 142.
— *Radiology*, vol. 37, n° 3, p. 550, novembre 1941.
— *Radiology*, vol. 32, p. 142, janvier 1939.
- PENDERGRASS (E.-P.), MODES (P.-S.) et GANAMAR. — Roentgentherapy by the method of Chaoul. (*Radiology*, 32, p. 142, février 1939.)
- REBOÛL (J.-A.). — Théories radiobiologiques. (Chap. XIV in P. LAMARQUE) (*American Journal of Cancer*, vol. xxx, VII, octobre 1939.)
- REGAUD. — Influence du facteur « temps » sur la stérilisation des lignées cellulaires normales et néoplasiques par la radiothérapie. (*Arch. de l'Institut du Radium de Paris*, vol. I, p. 343.)
- REINHARD (S.-C.) et GOODALE (H.-I.). — Surface and depth intensity for short distance and low-voltage therapy. (*Radiology*, 30, p. 221, février 1938.)
- RENAUX. — *Archives hospitalières*, n° 15, p. 563, octobre 1941. Généralités du tube Philips. *Journ. de Rad.*, t. xxv, p. 158, 1942-43.
- SCHREUS. — Irradiation en couches. Statistiques. (*Strahlentherapie*, 67-39, janvier 1940 ; *Radiology*, 36, p. 256, janvier 1941.)
- SIEGBAHN. — The spectroscopy of X ray. (*Oxford University Press*, edit., London.)
- STONE and ROBINSON. — Comparison of skin reactions produced by 200 and 1000 kv radiation. (*The Americ. Journ. of Röntg.*, XLIV, p. 601, octobre 1940.)
- STRAUSS. — Dosimétrie mecapion. (*Strahlentherapie*, 55-537.)
- THIBAUD (J.). — Les rayons X. (*Arm. Colin*, édit., Paris, 1930.)
— Vie et transmutation des atomes. (*Albin Michel*, édit.)

- VAN DER PLAATS. — Les principes et la pratique de la cautérisation par rayons X. (*Journal Belge de Radiologie*, xxviii, p. 319, 1939.)
- WENDEBERGER (J.). — Cancèrs de la peau ; technique de Chaoul ; modifications par Bode. (*Strahlentherapie*, 67-51, janvier 1940 ; *Radiology*, 36-249, janvier 1941 ; *Amer. Radiology*, 44, p. 797, novembre 1940.)
- VENDRYES. — Vie et probabilités. (*Albin Michel*, édit., 1942.)
-

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	9
--------------------	---

CHAPITRE PREMIER

Principe de la radiothérapie de contact	13
Courte distance focus-peau.....	15
Loi de la distance dans le vide.....	15
Ses conséquences.....	16
Bas voltage.....	20
Action sur la matière inerte.....	20
Action sur la matière vivante.....	25
Association courte distance et bas-voltage.....	26

CHAPITRE II

Étude physique du faisceau	31
Ionométrie (point de vue quantitatif)	31
Étude qualitative : caractéristiques.....	35
Courbe spectrale	35
Courbe d'absorption	46
Nombres caractéristiques	48
Dosimétrie pratique	53
Dosimétrie en surface.....	53
Dosimétrie en profondeur.....	56

CHAPITRE III

Étude des appareils	63
Tube Siemens (Chaoul).....	63
Tube Philips (Metalix).....	64
Comparaison des deux tubes.....	68

CHAPITRE IV

Étude biologique.....	71
Action sur la cellule.....	74
Action sur les tissus.....	79
Action sur l'organisme.....	81
Rôle du facteur quantitatif (dose) et du facteur qualitatif (longueur d'onde).....	84
Rôle du facteur chronologique.....	100
Théories radiobiologiques.....	102

CHAPITRE V

Étude thérapeutique	119
I. — Principe de la thérapeutique par rayons X :.....	120
Action caustique.....	120
Action sélective.....	120
II. — Indications de la radiothérapie de contact :	122
Accessibilité de la lésion.....	122
Faible épaisseur de la lésion	122
Faible étendue de la lésion	123
III. — Conditions générales d'applications :	124
Qualité du rayonnement :	124
Quantités : dose en surface	126
Répartition dans le temps	128
Dose unique : cautérisation de Van der Plaats...	128
Doses fractionnées : méthode de Chaoul.	130
IV. — Accidents.....	132
Au point de vue général.....	132
Au point de vue local.....	133
Radiodermite aiguë.....	133
Accidents oculaires.....	136
Chondroradionécrose.....	137
V. — Conditions particulières à chaque néoformation : résultats obtenus	137
I) Lésions superficielles :	138
A) Tumeurs malignes : épithéliomas primitifs.....	138
métastases cutanées	144
sarcomes de la peau	144
névo-carcinomes	145
mycosis fongoïde	147

B) États précancéreux de la peau et des muqueuses	148
kératoses séniles	148
leucoplasie	149
nœvi	150
C) Réactions cutanées hyperplasiques bénignes	151
cor	151
verrues	152
durillons	152
papillomes	152
chéloïdes	152
D) Affections diverses de la peau	153
eczéma chronique	154
tuberculose cutanée	154
prurit anal.....	154
II) Lésions profondes	155
Cancer de la vessie	156
Cancer du rectum	157
Cancer de l'utérus	175
VI. — Comparaison et association avec d'autres méthodes thérapeutiques	176
Chirurgie	177
Diathermo-coagulation	178
Curiethérapie	178
Radiothérapie profonde.....	180
VII. — Protection du médecin.....	181

* * *

CONCLUSION	185
------------------	-----

* * *

BIBLIOGRAPHIE	187
---------------------	-----

SERMENT

En présence des maîtres de cette école, de mes chers condisciples et devant l'effigie d'Hippocrate, je promets et je jure au nom de l'Etre Suprême, d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la médecine. Je donnerai mes soins gratuits à l'indigent et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail. Admis dans l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe, ma langue taira les secrets qui me seront confiés et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs ni à favoriser le crime.

Respectueux et reconnaissant envers mes maîtres, je rendrai à leurs enfants l'instruction que j'ai reçue de leurs pères.

Que les hommes m'accordent leur estime si je reste fidèle à mes promesses, que je sois couvert d'opprobre et méprisé de mes confrères si j'y manque.



En ma qualité de Censeur de
tour, j'ai lu la Thèse ayant pour
titre :

La radiothérapie de contact,
par Charles GROS.

Je pense que la Faculté peut
en permettre l'impression.

Montpellier, le 16 Juin 1943.

Le Professeur,
LAMARQUE.

Vu :

Montpellier, le 17 Juin 1943.

le Doyen :
GIRAUD.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER
Montpellier, le 18 Juin 1943.

Le Recteur :
SARRAILH.

La Faculté de Médecine de Montpellier déclare que les opinions émises dans les dissertations qui lui sont présentées doivent être considérées comme propres à leur auteur et qu'elle n'entend leur donner ni approbation ni improbation.

MONTPELLIER
IMPRIMERIE DE LA CHARITÉ
JUN 1943
